

BACHELORPROEF

Hoe kan FDM-3D-printafval herwerkt worden tot een nieuw bruikbaar ruw materiaal voor andere maakprocessen?

Bachelor	TA
Afstudeerrichting	Mixed Experience Design
Academiejaar	2026
Student	Devos Victor
Interne begeleider	Sander Vanbellegem
Externe promotor	Tijs Verbeke

INHOUD

BACHELORPROEF	1
1 BEGRIPPENLIJST	5
2 LIJST VAN FIGUREN	7
3 VOORWOORD	8
4 INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING	9
4.1 De aanleiding	9
4.2 Probleemstelling	9
4.3 Onderzoeksdoelstelling en centrale onderzoeksvraag	10
4.4 Maatschappelijke en academische relevantie	10
5 DEELVRAGEN	11
6 DOELGROEPEN	12
6.1 Hobbyisten en thuisgebruikers	12
6.2 Onderwijsinstellingen en scholen	12
6.3 Makerspaces en fablabs	12
7 LITERATUURSTUDIE	13
7.1 Inleiding en conceptuele afbakening	13
7.2 6.2 De meest gebruikte FDM-materialen	14
7.2.1 PLA	14
7.2.1.1 PLA Recycleerbaarheid buiten de 3D-printwereld	14
7.2.2 PETG	15
7.2.2.1 PETG Recycleerbaarheid buiten de 3D-printwereld	15
7.2.3 ABS	15
7.2.3.1 abs Recycleerbaarheid buiten de 3D-printwereld	15
7.2.4 TPU	16
7.2.4.1 tpu Recycleerbaarheid buiten de 3D-printwereld	16
7.2.5 ASA	16
7.2.5.1 asa Recycleerbaarheid buiten de 3D-printwereld	16
7.3 Recyclage van FDM-printafval: stand van zaken	17
7.3.1 Mechanische recyclage naar filament	17
7.3.2 Chemische recyclage	17
7.3.3 Thermische compressie en vormen als alternatieve route	18
7.3.4 Gezondheidsrisico's bij het verwerken van FDM-printmateriaal	18
7.4 Chemische verwerking	19
7.4.1 Chemische verwerking van PLA	19
7.4.2 Chemische verwerking van PETG	19
7.4.3 Waarom chemische recyclage buiten de scope valt van dit onderzoek	19
7.5 Conclusie over de materialen en positionering van het onderzoek	20
8 METHODOLOGIE	21
8.1 Onderzoeksopzet	21
8.2 Materiaalselectie en afbakening	21
8.3 Bevraging via online enquête	22
8.3.1 Doel en opzet	22
8.3.2 Verspreiding en steekproef	22

8.3.3	Analyse	22
8.4	Materiaal experimenten	22
8.4.1	Vorbereiding van het materiaal	22
8.4.2	Verwerkingsmethodes	23
8.4.3	Testen in maakprocessen	23
8.5	Evaluatiecriteria	24
8.6	Eindproduct: datasheet	24
8.7	Beperkingen van het onderzoek	24
9	RESULTATEN EN ANALYSE VAN DE FORM	25
9.1	Inleiding	25
9.2	Resultaten van de bevraging	25
9.2.1	Inleiding op de bevraging	25
9.2.2	Gebruikscontext van de respondenten	26
9.2.3	Gebruikte materialen	27
9.2.4	Geschatte hoeveelheid printafval per maand	28
9.2.5	Huidig gedrag rond printafval	29
9.2.6	Sorteergedrag per materiaaltype	30
9.2.7	Bereidheid om te sorteren	31
9.2.8	Ervaring met het hergebruiken van printafval	32
9.2.9	Drempels voor het recyclen van printafval	33
9.2.10	Gebruik van gerecycleerd filament	34
9.2.11	Motivatie om printafval te recyclen	35
9.2.12	Ervaring met kwaliteitsverschillen bij hergebruikt materiaal	36
9.2.13	Opmerkingen, tips en ervaringen	36
9.2.14	conclusie bevraging	37
9.3	Resultaten van de materiaalexperimenten	38
9.3.1	Inleiding op de experimenten	38
9.3.2	Vorbereiding van het materiaal	38
9.3.3	Experiment 1 — Thermische compressie via heatpress	39
9.3.4	Experiment 2 — compressie in blok mal	41
9.3.5	Experiment 3 — smelten in siliconen mallen	43
9.3.6	Experiment 4 — Lasercutting van het geproduceerde materiaal	45
9.3.7	EXPERIMENT 5 — Frezen van geproduceerde massieve blok	47
9.3.8	Chemische test — Isopropanol	49
9.3.9	Reststoffen bij de nabewerking van gerecycleerd materiaal	52
9.3.10	Vergelijking van de verwerkingsmethodes	53
9.3.11	Conclusie van de experimenten	54
10	CASESTUDY EN ANALYSE	55
10.1	Casestudy en analyse	55
10.2	situatie van de case	55
11	REFLECTIE EN EVALUATIE	56
11.1	Terugblik op het onderzoeksproces	56
11.2	Wat ik anders zou doen	56
11.3	Meerwaarde van het onderzoek	56
12	CONCLUSIE	57

12.1	Beantwoording van de deelvragen	57
12.2	Beantwoording van de centrale onderzoeksvraag	58
12.3	Aanbevelingen voor verder onderzoek	59
12.4	Sustainable Development Goals	59
13	PRODUCT	60
13.1	Inleiding op het eindproduct	60
13.2	De video's	60
13.2.1	Video 1 — Failed 3D prints don't have to be waste	60
13.2.2	Video 2 — Turning failed 3D prints into something new, using a silicone mold	60
13.2.3	Video 3 — Turning 3D print waste into a sheet for laser cutting	61
13.2.4	Video 4 — Accessible DIY alternatives for processing print waste	61
13.3	De datasheet	61
14	AI GEBRUIK	62
15	BRONNENLIJST	63
15.1	FDM-materialen en hun eigenschappen	63
15.2	Recyclage en herverwerking van FDM-printafval	63
15.3	Chemische recyclage van PLA en PETG	63
15.4	Gezondheidsrisico's bij verwerking	64
15.5	Praktijk en toegankelijkheid voor makers	64
15.6	Afvalpercentages bij FDM-printing	64
16	BIJLAGE	64
16.1	Bijlage 1: Vragenlijst survey	64
16.2	Bijlage 2: Overzicht van data-analyse (Excel)	64

1 BEGRIPPENLIJST

ABS (Acrylonitril-butadien-styreen) Een veelgebruikt FDM-filament dat hogere temperaturen verdraagt maar giftige dampen produceert bij verwerking.

ASA (Acrylonitril-styreen-acrylaat) Een UV-bestendige variant van ABS, geschikt voor buitentoepassingen.

Brim Een platte rand die rondom een print wordt geprint om te voorkomen dat het object loslaat van het printbed.

CNC-frezen Een computergestuurde freesmachine die materiaal wegneemt om een vorm te maken.

Compression molding Het persen van materiaal in een mal onder druk en warmte om een bepaalde vorm te geven.

Depolymerisatie Het chemisch afbreken van een polymeer tot zijn oorspronkelijke bouwstenen of monomeren.

Extrusie Het persen van gesmolten plastic door een opening om een bepaalde vorm of draad te maken.

FDM (Fused Deposition Modeling) De meest gebruikte 3D-printtechniek waarbij gesmolten filament laag per laag wordt afgezet.

Filament De draad van thermoplastisch materiaal die in een FDM-printer wordt gebruikt als grondstof.

Glasovergangstemperatuur De temperatuur waarbij een thermoplast zacht en vervormbaar begint te worden zonder volledig te smelten.

Glycolyse Een chemische methode om PET of PETG af te breken met behulp van ethyleenglycol.

Heatpress Een machine die druk en warmte combineert, normaal gebruikt voor textielbedrukking maar ook bruikbaar voor het persen van thermoplastisch materiaal.

Homogeniteit De mate waarin een materiaal overal dezelfde samenstelling en structuur heeft zonder zwakke zones of onregelmatigheden.

Hydrolyse Een chemische reactie waarbij water een polymeer afbreekt tot kleinere moleculen.

Infill De interne structuur van een 3D-print, meestal een rasterpatroon dat de sterkte en het gewicht bepaalt.

Isopropanol Een veelgebruikt reinigingsmiddel in makerspaces.

Ketenschisie Het breken van moleculaire ketens in een polymeer door herhaald verhitten, wat leidt tot slechtere mechanische eigenschappen.

Lasercutting Een techniek waarbij een laserstraal materiaal snijdt of graveert via gecontroleerde warmte.

Makerspace / FabLab Een gedeelde werkruimte met machines en tools voor makers, ontwerpers en hobbyisten.

Microplastics Zeer kleine kunststofdeeltjes die vrijkomen bij verwerking of slijtage van plastic en schadelijk kunnen zijn voor mens en milieu.

Moleculair gewicht Een maat voor de grootte van polymeerketens. Een lager moleculair gewicht na recycling betekent zwakker materiaal.

Monomeer De basisbouwsteen van een polymeer. Bij chemische recyclage wordt een polymeer teruggebracht tot zijn monomeren.

Nozzle Het smalle metalen mondstuk aan het einde van de extruder in een 3D-printer waardoor het gesmolten filament wordt geperst.

PETG (Polyethyleentereftalaat glycol) Een veelgebruikt FDM-filament dat sterker en flexibeler is dan PLA maar moeilijker te herwerken.

PLA (Polylactide) Het meest gebruikte FDM-filament, gemaakt uit hernieuwbare grondstoffen zoals maïszetmeel.

Polymeer Een materiaal opgebouwd uit lange ketens van herhalende moleculen, zoals plastic.

Raft Een tijdelijk platform dat onder een print wordt geprint om hechting aan het bed te verbeteren.

Shredder Een machine die plastic afval vermaalt tot kleine stukjes of granulaat als voorbereiding op herverwerking.

Solvolyse Een chemische methode waarbij een oplosmiddel een polymeer afbreekt.

Supports Tijdelijke steunstructuren die worden geprint onder uitstekende delen van een object en achteraf worden verwijderd.

Thermoplast Een kunststof die smelt bij verhitting en weer hard wordt bij afkoeling, en daardoor in theorie herbruikbaar is.

TPU (Thermoplastisch polyurethaan) Een flexibel FDM-filament met rubberachtige eigenschappen, moeilijk te versnipperen door zijn elasticiteit.

Virgin materiaal Nieuw, ongebruikt basismateriaal dat nog niet eerder is verwerkt of gerecycled.

VOC's (Vluchtige Organische Verbindingen) Chemische stoffen die vrijkomen als gas bij het verhitten van plastic en schadelijk kunnen zijn bij inademing.

2 LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: geschat gebruik van materiaal met data uit verschillende bronnen.	19
Figuur 2: resultaten op de vraag "In welke context gebruik je een 3D-printer?"	26
Figuur 3: resultaten op de vraag "Welke materialen print je vooral?"	27
Figuur 4: resultaten op de vraag "Hoeveel printafval schat je dat je gemiddeld per maand produceert?"	28
Figuur 5: resultaten op de vraag "Wat doe je momenteel met je printafval (mislukte prints, supports, testen)?"	29
Figuur 6: resultaten op de vraag "Sorteer je je printafval al per materiaaltype (bv. PLA apart van PETG)?"	30
Figuur 7: resultaten op de vraag "Zou je bereid zijn je printafval te sorteren per materiaal als het recyclageproces hierdoor eenvoudiger wordt?"	31
Figuur 8: resultaten op de vraag "Heb je al eens geëxperimenteerd met het hergebruiken van printafval?"	32
Figuur 9: resultaten op de vraag "Wat is volgens jou de grootste drempel voor het recycleren van printafval?"	33
Figuur 10: resultaten op de vraag "Zou je gerecycleerd filament (van printafval) gebruiken als het beschikbaar was?"	34
Figuur 11: resultaten op de vraag "Wat zou jou het meest motiveren om je printafval te recycleren?"	35
Figuur 12: Test 5 met PETG in stalen mal	40
Figuur 13: Heatpress tests met PLA	40
Figuur 14: houten blokvorm mal met gepreste blok plastic.	42
Figuur 15: Silicone vorm test resultaat	44
Figuur 16: Silicone vorm	44
Figuur 17: Plaat waar stukken uit zijn gelasercut	46
Figuur 18: gelasercutte stukken om mogelijkheden te tonen	46
Figuur 19: resultaat van CNC-frezen in massieve blok	49
<i>Figuur 20: isopropanol test start.</i>	50
<i>Figuur 21: isopropanol test na 12u in de vloeistof.</i>	51
<i>Figuur 22: Foto's 3D printer hoek mind- and makerspace (MAM)</i>	55

3 VOORWOORD

Deze bachelorproef is het eindpunt van mijn opleiding Mixed Experience Design aan Howest. Het onderwerp groeide vanuit iets wat ik al langer zag gebeuren in de makerspace: een berg mislukte prints, supports en purge afval die nergens naartoe gaat. De vraag die ik mezelf stelde was simpel. Kan dat afval iets worden?

Dat werd de rode draad van dit onderzoek. Hoe je FDM-3D-printafval kan herwerken tot een nieuw bruikbaar ruw materiaal voor andere maakprocessen zoals CNC-frezen, lasercutting en vormen in siliconen mallen. Wat begon als een praktische observatie groeide uit tot een materiaalonderzoek waarbij ik zelf aan de slag ging met thermische compressie, mallen en een heleboel mislukte en geslaagde pogingen.

Het was een leerrijk maar ook chaotisch proces. Experimenten die niet uitkwamen zoals verwacht, materialen die zich anders gedroegen dan de theorie voorspelde, en inzichten die pas laat in het traject duidelijk werden. Precies dat maakte het ook interessant.

Graag wil ik een aantal mensen bedanken die dit onderzoek mogelijk hebben gemaakt.

Tijs Verbeke en Jarno Desmet van MAM Brugge voor hun praktijkkennis, openheid en bereidheid om mee te experimenteren. Zonder de ruimte en de middelen van MAM was dit onderzoek er niet gekomen.

Sander Van Bellegem, mijn interne begeleider aan Howest, voor de begeleiding en de kritische feedback doorheen het hele traject.

VPS Projects and Services voor het ter beschikking stellen van de heatpress en de lasercutter, wat de experimenten naar een ander niveau tilde.

Tot slot mijn familie voor de steun en het geduld tijdens dit hele proces.

Veel leesplezier!

4 INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

4.1 DE AANLEIDING

FDM-3D-printing is de afgelopen jaren sterk gegroeid binnen makerspaces, onderwijsinstellingen en bij hobbyisten thuis. De technologie is toegankelijker dan ooit, de printers worden goedkoper en het gebruik ervan verspreidt zich razendsnel. Maar die groei heeft een keerzijde die zelden centraal staat en dat is het afval die erdoor gecreëerd wordt.

Wie zelf print weet het. Mislukte eerste lagen, purge plastic, losgeknipte supports, scheve brims, testprints die nooit verder kwamen dan een eerste poging. Het stapelt zich op. Niet als uitzondering, maar als een vast onderdeel van het maakproces. Onderzoek bevestigt dat beeld: wereldwijd wordt jaarlijks ongeveer 180.000 ton filament verkocht, waarvan naar schatting 24% als scrap eindigt (Printables.com, z.d.). In makerspace-contexten ligt dat cijfer nog hoger: het totale afvalpercentage bij FDM-printing wordt in de literatuur geschat op ongeveer 34%, inclusief materiaal voor supportstructuren (Tzounis et al., 2021). Mislukte prints vormen daarbinnen de grootste categorie en zijn verantwoordelijk voor meer dan 80% van het gegenereerde afval (Filamentive, 2019).

Dit onderzoek vertrekt vanuit een persoonlijke vaststelling. Als eigenaar van meerdere FDM-printers merkte ik al snel dat afval een structureel onderdeel is van het printproces, niet een randverschijnsel. Dat gevoel werd bevestigd door gesprekken met Tijs Verbeke van MAM Brugge, die aangaf dat ze het printafval van hun twee printers gewoon bijhouden omdat er geen duidelijke bestemming voor is. Bij een recent bezoek lag er al ongeveer tien kilogram afval opgeslagen zonder verdere verwerking. Diezelfde vraag duikt regelmatig op in Facebook-groepen rond 3D-printing en bij content creators op sociale media: wat doe je met al dat afval?

4.2 PROBLEEMSTELLING

Het antwoord dat de sector vandaag geeft op die vraag is grotendeels hetzelfde: recycleer het terug naar filament. Filamentrecyclers zoals de Felfil of de ReDeTec ProtoCycler laten toe om versnipperd printafval opnieuw te extruderen tot bruikbaar filament. Dat klinkt circulair, maar de praktijk zekt anders.

Hergebruik als filament gaat vrijwel altijd gepaard met materiaaldegradatie. Bij PLA leidt herhaald verhitten tot een verlaging van het moleculairgewicht, wat resulteert in brozer en minder betrouwbaar filament (Hidalgo-Carvajal et al., 2023). Daarnaast vereist het proces consistente materiaalstromen: gemengd afval van verschillende kleuren of materiaalsoorten is moeilijk te verwerken zonder kwaliteitsverlies. Voor een kleine makerspace of een individuele gebruiker is dat zelden haalbaar. De investering in machines, tijd en kwaliteitscontrole weegt niet op tegen de beperkte hoeveelheid afval die lokaal beschikbaar is.

Wat ontbreekt is een alternatieve aanpak die het afval niet terug naar hetzelfde proces stuurt, maar het herwerkt tot iets anders. De output van de 3D-printer als input voor een andere machine. Printafval niet als grondstof voor nieuw filament, maar als ruw materiaal voor CNC-frezen, lasercutting of vormen via mallen.

Dat is precies de gap die dit onderzoek wil invullen. Bestaand onderzoek focust vrijwel uitsluitend op recyclage binnen dezelfde maaklogica. Er is nauwelijks onderbouwd onderzoek naar wat er gebeurt als je dat afval thermisch comprimeert tot platen, smelt in mallen of op een andere manier omvormt tot een massief ruw materiaal dat inzetbaar is in andere maakprocessen (Prasad et al., 2024; Dong et al., 2025).

4.3 ONDERZOEKSDOELSTELLING EN CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG

Het doel van dit onderzoek is nagaan of FDM-3D-printafval op een praktisch haalbare manier omgevormd kan worden tot een nieuw bruikbaar ruw materiaal voor andere maakprocessen, en onder welke voorwaarden dat materiaal technisch bruikbaar is.

De centrale onderzoeksvraag luidt:

Hoe kan FDM-3D-printafval herwerkt worden tot een nieuw bruikbaar ruw materiaal voor andere maakprocessen?

4.4 MAATSCHAPPELIJKE EN ACADEMISCHE RELEVANTIE

De relevantie van dit onderzoek situeert zich op twee niveaus.

Maatschappelijk sluit het aan bij een groeiende nood aan circulaire maakpraktijken. Makerspaces, fablabs, onderwijsinstellingen, Hobbygebruikers, bedrijven... Beschikken over de machines en de experimenteerruimte om nieuwe materiaalstrategieën te testen, maar missen concrete handvatten voor wat er met printafval kan gebeuren. Dit onderzoek biedt een praktisch toepasbaar antwoord dat geen dure infrastructuur vereist en lokaal uitvoerbaar is.

Academisch vult het een duidelijk leeg gat in. Bestaand onderzoek rond FDM-recyclage focust bijna uitsluitend op het sluiten van de cirkel richting nieuw filament. Onderzoek dat printafval positioneert als grondstof voor andere maakprocessen is schaars en weinig uitgewerkt. Dit onderzoek levert een extra bijdrage aan dat onderbelichte domein (Zhu et al., 2021; Hassan et al., 2024).

5 DEELVRAGEN

1. Welke FDM-materialen vormen de grootste afvalstroom binnen hobbyistische en educatieve maakcontexten, en wat zijn hun specifieke eigenschappen met het oog op thermische herverwerking?
2. Welke verwerkingsmethodes, zoals thermische compressie, smelten in de oven en gieten in mallen, leveren een bruikbaar en structureel stabiel materiaal op uit FDM-printafval?
3. Onder welke procesparameters, zoals temperatuur en tijdsduur, levert thermische compressie van PLA en PETG-printafval het meest homogene eindproduct op?
4. Is het geproduceerde materiaal technisch bruikbaar voor nabewerking via lasercutting en CNC-frezen zonder structurele falingen?
5. Wat zijn de voornaamste drempels die hobbyisten en makers ervaren bij het recyclen van FDM-printafval, en hoe sluit een alternatieve verwerkingsroute aan bij die noden?
6. In welke mate zijn hobbyisten bereid om hun printafval te sorteren per materiaaltype als er een concrete en laagdrempelige verwerkingsroute beschikbaar is?
7. Welke gezondheids- en veiligheidsrisico's zijn verbonden aan het thermisch verwerken van FDM-printafval, en welke minimale voorzorgsmaatregelen zijn noodzakelijk?
8. Hoe kan de kennis uit de materiaalexperimenten gebundeld worden in een praktisch bruikbare datasheet voor makers en hobbyisten die zelf aan de slag willen met hun printafval?
9. Welke reststoffen ontstaan bij de verdere verwerking van gerecycleerd FDM-plaatmateriaal via lasercutting en CNC-frezen, en hoe kunnen deze veilig en circulair worden behandeld?

6 DOELGROEPEN

Dit onderzoek richt zich op drie groepen die elk op hun eigen manier met printafval zitten en nut hebben bij een concrete oplossing.

6.1 HOBBYISTEN EN THUISGEBRUIKERS

Dit is de grootste groep. Ze printen thuis, vaak dagelijks, en stapelen hun mislukte prints en supports op zonder te weten wat ze ermee moeten doen. Ze hebben geen professionele apparatuur voor recyclage en willen daar ook niet in investeren. Precies voor hen zoekt dit onderzoek naar verwerkingsroutes die werken met wat je al in huis hebt.

6.2 ONDERWIJSINSTELLINGEN EN SCHOLEN

Scholen die werken met 3D-printers in technische of designgerichte richtingen genereren ook printafval dat nergens naartoe gaat. Bovendien is de schoolcontext ideaal om studenten bewust te maken van duurzaam maken. Het herwerken van printafval kan een leerzame activiteit zijn die past binnen een circulair denkkader.

6.3 MAKERSPACES EN FABLABS

Dit is ook de context waarbinnen dit onderzoek plaatsvindt, namelijk MAM Brugge. Makerspaces hebben de machines, de ruimte en de experimenteercultuur om nieuwe verwerkingsmethodes uit te testen. Ze zijn ook een logische plek om kennis te bundelen en te delen met de bredere maker gemeenschap.

7.1 INLEIDING EN CONCEPTUELE AFBAKENING

Deze literatuurstudie vormt de theoretische basis van het onderzoek. Ze brengt in kaart wat er al geweten is over FDM-3D-printing als maakproces, de materialen die daarbinnen het meest gebruikt worden, de afvalproblematiek die ermee gepaard gaat en de huidige stand van zaken rond recyclage en herverwerking. Vanuit die basis wordt duidelijk gemaakt waar de onderzoeksgap zich bevindt en waarom een alternatieve aanpak, waarbij printafval wordt herwerkt tot ruw materiaal voor andere maakprocessen, wetenschappelijk en praktisch relevant is.

De literatuurstudie is opgebouwd rond vijf centrale thema's. Eerst wordt FDM-3D-printing als technologie kort gesitueerd. Daarna worden de meest gebruikte materialen per type besproken. Vervolgens wordt de afvalproblematiek in kaart gebracht. Daarna worden bestaande recyclagestrategieën kritisch bekeken. Tot slot wordt chemische verwerking als theoretische route besproken, waarbij ook wordt toegelicht waarom deze aanpak buiten de scope valt van dit onderzoek.

De afbakening beperkt zich tot FDM-printing, ook wel Fused Filament Fabrication of FFF genoemd. Andere additive manufacturing technieken zoals SLA of SLS brengen andere materialen en afvalstromen met zich mee en vallen buiten de scope. Binnen FDM focust het onderzoek op PLA en PETG als meest voorkomende thermoplastische materialen. Wie het afvalprobleem wil aanpakken, moet vertrekken vanuit de materialen die het meest gebruikt en dus het meest weggegooid worden (Prasad et al., 2024).

Een belangrijk conceptueel onderscheid dat doorheen de literatuurstudie terugkeert is dat tussen thermoplastische en thermohardende kunststoffen. Thermoplastics kunnen verhit en gevormd worden via een omkeerbaar proces zonder chemische binding, wat ze in theorie recycleerbaar maakt. Thermohardende kunststoffen blijven permanent vast na uitharding. Alle FDM-materialen die in dit onderzoek aan bod komen zijn thermoplastisch, wat de basis vormt voor zowel thermische als chemische herwerkingsmogelijkheden (Hassan et al., 2024).

7.2 6.2 DE MEEST GEBRUIKTE FDM-MATERIALEN

7.2.1 PLA

PLA of polylactide is het meest gebruikte materiaal binnen FDM-printing. Het wordt afgeleid van hernieuwbare grondstoffen zoals maïszetmeel en suikerriet, en print bij relatief lage temperaturen van 190 tot 220 graden Celsius voor de nozzle en ongeveer 55 graden voor het printbed. Het vereist geen gesloten behuizing en werkt op vrijwel elke FDM-printer op de markt. Voor decoratieve prints, displaymodellen en prototypes is PLA de meest voor de hand liggende keuze (Hasan et al., 2024).

PLA heeft echter duidelijke beperkingen. De glasovergangstemperatuur ligt rond 60 graden Celsius, wat betekent dat het vervormt bij blootstelling aan warmte. Bovendien is het relatief bros bij plotse impact in vergelijking met PETG of ABS, wat het minder geschikt maakt voor mechanisch belaste functionele onderdelen (Hasan et al., 2024).

Wat betreft mechanische recyclage toont onderzoek consistent aan dat de materiaaleigenschappen aanzienlijk achteruitgaan bij herverwerking. Bij recycling via extrusie treedt ketenschisis op, waarbij de moleculaire ketens breken en de intrinsieke viscositeit daalt. Dit resulteert in een verminderde treksterkte en buigsterkte van het gerecycleerde eindproduct. Onderzoek toont aan dat de treksterkte van gerecycleerd PLA met 10,9% kan dalen ten opzichte van virgin materiaal, terwijl de buigsterkte in sommige studies met 69% afneemt (Mishra et al., 2023). Hidalgo-Carvajal et al. (2023) bevestigen dat herhaalde extrusiecycli leiden tot verdere degradatie, waarbij PLA-afval van gemengde oorsprong sneller achteruitgaat dan materiaal van een bekende, zuivere bron.

7.2.1.1 PLA RECYCLEERBAARHEID BUITEN DE 3D-PRINTWERELD

PLA wordt vaak gepromoot als biologisch afbreekbaar, maar die claim verdient nuancering. Biologische afbraak vereist specifieke industriële composteersomstandigheden die in de praktijk zelden beschikbaar zijn voor eindgebruikers. In de reguliere afvalstroom valt PLA onder de restcategorie voor kunststoffen die niet in standaard recyclagestromen passen. Bovendien vormt PLA een probleem in bestaande PET-recyclagestromen omdat het visueel nauwelijks te onderscheiden is van PET, wat leidt tot verontreiniging en kwaliteitsverlies bij de verwerking (Prasad et al., 2024).

7.2.2 PETG

PETG staat voor polyethyleentereftalaat gemodificeerd met glycol. De glycolmodificatie maakt het materiaal gemakkelijker te printen dan standaard PET, minder gevoelig voor kristallisatie en beter bestand tegen schokken. PETG combineert gebruiksgemak met goede mechanische sterkte en chemische bestendigheid, en is minder bros dan PLA. Het wordt veel gebruikt voor functionele onderdelen zoals houders, beugels en mechanische assemblages (Hassan et al., 2024).

Bij mechanische herverwerking vertoont PETG een opvallend ongunstig gedrag. Onderzoek toont aan dat herhaalde extrusie leidt tot een daling van de intrinsieke viscositeit door verhoogde afschuifspanning, wat de vloeieigenschappen en de diameter-consistentie van het geproduceerde filament negatief beïnvloedt (Mishra et al., 2023).

7.2.2.1 PETG RECYCLEERBAARHEID BUITEN DE 3D-PRINTWERELD

Hoewel PET een van de best gerecycleerde plastics ter wereld is, is PETG als verontreiniging in PET-recyclagestromen bijzonder problematisch. De glycolmodificatie verlaagt het smeltpunt en de temperatuurstabiliteit van het eindproduct wanneer PETG ongemerkt in een PET-batch terechtkomt. Hierdoor weigeren de meeste recyclagefaciliteiten PETG te aanvaarden. In de praktijk belandt PETG-printafval daardoor vrijwel altijd bij het restafval (Prasad et al., 2024).

7.2.3 ABS

ABS of acrylonitril-butadien-styreen is historisch gezien een van de eerste en meest gebruikte materialen binnen FDM-printing. Het is een sterke, slagvaste kunststof met een glasovergangstemperatuur van ongeveer 100 graden Celsius, wat het geschikter maakt voor warmtebelaste toepassingen dan PLA. ABS vereist echter een verwarmde behuizing om kromtrekken te voorkomen, en produceert merkbare dampen bij het printen waarvoor goede ventilatie noodzakelijk is (Mishra et al., 2023).

Bij herverwerking vertoont ABS kettingscheiding bij thermo-mechanische recycling, wat resulteert in een daling van de glasovergangstemperatuur en een vermindering van de mechanische eigenschappen. Onderzoek toont aan dat de treksterkte van gerecycleerd ABS met 12 tot 49% kan dalen afhankelijk van de printoriëntatie (Mishra et al., 2023).

7.2.3.1 ABS RECYCLEERBAARHEID BUITEN DE 3D-PRINTWERELD

ABS valt in de meeste classificatiesystemen onder de restcategorie voor kunststoffen. Hoewel er in industriële contexten zoals de auto-industrie wel recyclageroutes bestaan voor ABS, zijn die niet toegankelijk voor kleine hoeveelheden printafval van individuen of makerspaces. ABS-printafval belandt daardoor in de praktijk vrijwel altijd in het restafval (Olawumi et al., 2023).

7.2.4 TPU

TPU of thermoplastisch polyurethaan is het standaard flexibele filament binnen FDM-printing. Het produceert rubberachtige, flexibele onderdelen die kunnen buigen en terugkeren naar hun oorspronkelijke vorm. TPU wordt gebruikt voor beschermhoezen, pakkingen en onderdelen die trillingen moeten opvangen. Het vereist lagere printsnelheden en nauwkeurige retractie-instellingen (Hassan et al., 2024).

Vanuit herwerkingsperspectief stelt TPU unieke uitdagingen. Omdat het materiaal elastisch is, gedraagt het zich fundamenteel anders bij versnippering: het rekt in plaats van te breken, wat de korrelgrootte en homogeniteit van het versnipperde materiaal beïnvloedt. In gemengde afvalstromen kan zelfs een kleine hoeveelheid TPU de mechanische eigenschappen van het eindproduct sterk beïnvloeden.

7.2.4.1 TPU RECYCLEERBAARHEID BUITEN DE 3D-PRINTWERELD

TPU heeft buiten de 3D-printwereld geen standaard recyclageroute en wordt beschouwd als een materiaal zonder gestandaardiseerd einde-levenstraject via gemeentelijke programma's (Prasad et al., 2024).

7.2.5 ASA

ASA of acrylonitril-styreen-acrylaat is de directe opvolger van ABS voor toepassingen in de buitenlucht. De acrylaat-component geeft het materiaal een UV-stabiliteit die ABS fundamenteel ontbeert. ASA vergelt niet en wordt niet bros bij langdurige blootstelling aan UV-straling. Net als ABS vereist het een verwarmde behuizing tijdens het printproces (Olawumi et al., 2023).

7.2.5.1 ASA RECYCLEERBAARHEID BUITEN DE 3D-PRINTWERELD

ASA is van de vijf besproken materialen het meest problematisch wat betreft recycleerbaarheid. Het valt onder de restcategorie en wordt door vrijwel geen enkel gemeentelijk recyclageprogramma aanvaard. In tegenstelling tot ABS, dat in industriële contexten wél recyclageroutes kent, heeft ASA geen vergelijkbare industriële recyclage-infrastructuur op schaal (Prasad et al., 2024).

7.3 RECYCLAGE VAN FDM-PRINTAFVAL: STAND VAN ZAKEN

7.3.1 MECHANISCHE RECYCLAGE NAAR FILAMENT

De meest besproken aanpak voor het herwerken van FDM-printafval is mechanische recyclage waarbij het afval wordt vermalen en via extrusie opnieuw omgevormd tot filament. Dit proces verloopt in drie stappen: versnippering, drogen om vochtabSORPTIE te elimineren, en extrusie via een filamentmaker (Mishra et al., 2023).

In de praktijk zijn de beperkingen significant. Herhaald verhitten leidt bij elk verwerkingscyclus tot ketenschisie en degradatie van de polymeerketen. De treksterkte en buigsterkte van gerecycleerd filament liggen consequent lager dan die van virgin materiaal, met dalingen die per materiaal en aantal cycli sterk variëren (Mishra et al., 2023; Hidalgo-Carvajal et al., 2023).

Een bijkomend probleem is de materiaalkwaliteit van de input. FDM-printafval in makerspaces bestaat zelden uit één zuiver materiaal van één kleur en merk. Gemengd afval produceert filament van inconsistente kwaliteit, met variaties in diameter en printgedrag die opnieuw leiden tot printfouten en bijkomend afval. Dit ondermijnt de efficiëntie van het recyclageproces en maakt het voor kleine contexten zoals makerspaces of thuisgebruikers moeilijk uitvoerbaar (Prasad et al., 2024).

7.3.2 CHEMISCHE RECYCLAGE

Naast mechanische recyclage bestaat er ook chemische recyclage, waarbij polymeren worden afgebroken tot hun monomeren of tussenproducten. Voor PLA zijn methodes zoals hydrolyse en solvolyse mogelijk. Voor PET en PETG is glycolyse de meest onderzochte route. Glycolyse werkt onder mildere omstandigheden dan andere chemische methodes en levert een relatief zuiver monomeer op als inputmateriaal voor nieuwe polymerisatie (Amundarain et al., 2024).

In de praktijk is chemische recyclage echter complex, duur en vereist ze gespecialiseerde chemische infrastructuur die ver buiten het bereik ligt van makerspaces en thuisgebruikers. Het is dan ook geen realistische optie voor de doelgroepen van dit onderzoek (Zhu et al., 2021).

7.3.3 THERMISCHE COMPRESSIE EN VORMEN ALS ALTERNATIEVE ROUTE

Een aanpak die tot nu toe weinig aandacht heeft gekregen in onderzoek rond FDM-printafval is het herwerken via thermische compressie tot platen of smelten in mallen tot massieve vormen. Deze methode vertrekt niet vanuit de logica van filamentproductie maar stelt een fundamenteel andere vraag: wat als het afval de grondstof wordt voor een ander maakproces?

Het principe van thermische compressie voor gerecycleerd plastic is niet nieuw en wordt al toegepast in bredere plastic recyclage-initiatieven. Meerdere makers wereldwijd experimenteren met dit principe en produceren meubilair en functionele objecten uit gerecycleerde plastic platen die daarna bewerkbaar zijn met zaagmachines, CNC-freesmachines en lasersnijders (Loth & Auburn University, 2025).

Wat echter grotendeels ontbreekt is toegepast onderzoek dat deze aanpak specifiek richt op FDM-3D-printafval als inputmateriaal. De samenstelling van FDM-printafval verschilt van algemeen huishoudelijk plastic afval: het bestaat typisch uit kleine, compacte fragmenten van thermoplastics met specifieke printparameters zoals laagdikte en infill die de structuur beïnvloeden. Of en hoe dit materiaal zich gedraagt bij thermische compressie is nauwelijks onderzocht. Dat vormt precies de kern van het onderzoek dat hier wordt beschreven (Hassan et al., 2024; Prasad et al., 2024).

7.3.4 GEZONDHEIDSRISICO'S BIJ HET VERWERKEN VAN FDM-PRINTMATERIAAL

Een aspect dat niet mag worden genegeerd is de gezondheidsimpact van het verhitten en verwerken van thermoplastische FDM-materialen op grotere schaal. Waar het bij regulier 3D-printen gaat om relatief beperkte hoeveelheden materiaal via een kleine nozzle, gaat thermische compressie gepaard met een verhoogde emissie van schadelijke stoffen.

Onderzoek toont aan dat het verhittingsproces van thermoplastics bij FDM-printing twee types schadelijke emissies produceert: vluchtige organische verbindingen of VOC's, en ultrafijne deeltjes met een diameter van 1 tot 100 nanometer. Die ultrafijne deeltjes zijn klein genoeg om diep in het ademhalingsstelsel door te dringen (Bernatikova et al., 2021). Voor ABS is styreen de voornaamste problematische emissie, geclassificeerd als een mogelijke menselijke carcinogeen. Bij PETG werden ethylbenzeen, toluen en xyleen gedetecteerd als VOC-emissies, en ook PLA emitteert ultrafijne deeltjes en VOC's bij hogere verwerkingstemperaturen (Bernatikova et al., 2021).

Voor de praktische uitvoering van dit onderzoek betekent dit dat thermische compressie uitsluitend mag plaatsvinden in ruimtes met adequate ventilatie of afzuiging. Dit is geen marginale voetnoot maar een structurele randvoorwaarde voor elke makerspace of onderwijsinstelling die deze verwerkingsroute wil toepassen.

7.4 CHEMISCHE VERWERKING

7.4.1 CHEMISCHE VERWERKING VAN PLA

Voor PLA zijn er drie hoofdmethodes voor chemische recyclage: hydrolyse, alcoholyse en pyrolyse. Hydrolyse is de meest onderzochte route waarbij PLA in aanwezigheid van water en eventueel zuur of base wordt afgebroken tot melkzuur, de oorspronkelijke bouwsteen. Dit vereist hoge temperaturen van 100 tot 200 graden Celsius en gecontroleerde pH-omstandigheden (Lau & Sheratt, 2020).

Voor de praktische context van dit onderzoek is chemische recyclage van PLA geen realistische verwerkingsroute. De processen vereisen gecontroleerde chemische omstandigheden, specifieke reagentia en apparatuur die ver buiten het bereik vallen van een thuisgebruiker. Chemische recyclage van PLA is dan ook eerder een industriële route dan een DIY-oplossing (Lau & Sheratt, 2020).

7.4.2 CHEMISCHE VERWERKING VAN PETG

PETG is chemisch verwant aan PET en kan in principe via glycolyse worden gerecycleerd, waarbij het polymeer wordt afgebroken met ethyleenglycol tot het monomeer BHET. Recente bio-gebaseerde glycolyse-processen bereiken hoge conversiegraden van 91 tot 97% en BHET-opbrengsten van 71 tot 76% (Amundarain et al., 2024).

De glycolmodificatie in PETG maakt het reactieproces echter minder voorspelbaar dan bij ongemodificeerd PET. Onderzoek naar chemische recyclage richt zich dan ook bijna uitsluitend op PET, niet op PETG (Amundarain et al., 2024). Net als bij PLA is chemische recyclage van PETG in een hobbyistische context niet realistisch toepasbaar.

7.4.3 WAAROM CHEMISCHE RECYCLAGE BUITEN DE SCOPE VALT VAN DIT ONDERZOEK

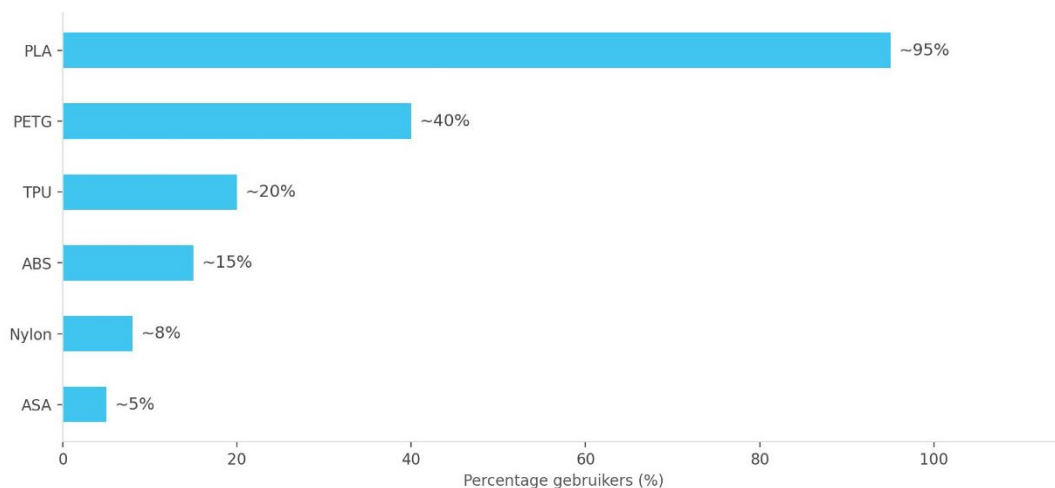
Zowel voor PLA als voor PETG ontbreekt de praktische vertaling naar een hobbyistische context volledig. De processen zijn complex, duur en werken met potentieel gevaarlijke stoffen. Het eindproduct is bovendien een chemisch monomeer dat opnieuw gepolymeriseerd moet worden voor gebruik, wat een bijkomende industriële stap vereist die ver buiten het bereik van een maker ligt (Zhu et al., 2021; Amundarain et al., 2024).

7.5 CONCLUSIE OVER DE MATERIALEN EN POSITIONERING VAN HET ONDERZOEK

De vijf besproken materialen hebben elk hun eigen eigenschappen en recyclageproblematieken. Wat ze gemeen hebben is dat ze allemaal thermoplastisch zijn en dat geen van hen een eenvoudige, lokaal toepasbare recyclageoplossing heeft via de klassieke gemeentelijke afvalverwerking. Ze belanden in de praktijk vrijwel allemaal bij het restafval (Prasad et al., 2024; Olawumi et al., 2023).

Bestaand onderzoek focust vrijwel uitsluitend op recyclage terug naar filament als oplossing. Maar herhaald verhitten leidt bij elk van deze materialen tot meetbare degradatie van mechanische eigenschappen (Mishra et al., 2023; Hidalgo-Carvajal et al., 2023). Filamentrecyclage is in de praktijk ook moeilijk uitvoerbaar voor kleine contexten door de vereisten rond materiaalpuurheid, consistentie en apparatuur (Prasad et al., 2024).

Dit onderzoek kiest bewust een andere route. De experimentele fase beperkt zich tot PLA en PETG, de meest gebruikte materialen in hobbyistische contexten en de grootste afvalstroom binnen makerspaces. ABS vereist een gesloten behuizing en produceert gevaarlijke dampen. TPU gedraagt zich fundamenteel anders bij versnippering. ASA is in de doelgroepcontext zeldzaam. PLA en PETG zijn toegankelijk, wijdverspreid en vormen de kern van wat bij hobbyisten en makerspaces als afval overblijft (Hassan et al., 2024; Mishra et al., 2023).



Figuur 1: geschat gebruik van materiaal met data uit verschillende bronnen.

8 METODOLOGIE

8.1 ONDERZOEKSOPZET

Dit onderzoek combineert drie complementaire methodes: een literatuurstudie, een kwantitatieve bevraging via een online enquête en een reeks praktische materiaalexperimenten. Die combinatie is bewust gekozen omdat geen van de drie methodes op zich voldoende is om de onderzoeksvraag volledig te beantwoorden.

De literatuurstudie legt de theoretische basis en situeert het onderzoek binnen bestaand werk rond FDM-materialen, recyclage en materiaaldegradatie. De bevraging brengt in kaart hoe makers en hobbyisten in de praktijk omgaan met printafval, welke drempels ze ervaren en of ze openstaan voor alternatieven. De materiaalexperimenten testen concreet of FDM-printafval via verschillende verwerkingsroutes kan worden omgezet tot een bruikbaar ruw materiaal voor andere maakprocessen.

Het onderzoek situeert zich binnen MAM Brugge en richt zich op makers, hobbyisten en kleine creatieve studios die met een beperkt budget werken. Die context bepaalt de keuzes doorheen het hele onderzoek: van de materiaalselectie tot de verwerkingsmethodes en de uiteindelijke vorm van het eindproduct.

8.2 MATERIAALSELECTIE EN AFBAKENING

Het onderzoek beperkt zich tot twee materialen: PLA en PETG. Dit zijn de meest gebruikte FDM-materialen in hobbyistische en educatieve contexten en vormen de grootste afvalstroom binnen makerspaces zoals MAM Brugge (Filamentive, 2021; find3dprinting.com, 2026). De keuze voor deze twee materialen sluit aan bij de doelgroep van dit onderzoek. Andere materialen zoals ABS, TPU en ASA vallen buiten de scope. ABS vereist een gesloten behuizing en produceert schadelijke dampen die in een hobbycontext moeilijk te beheersen zijn (Azimi et al., 2021). TPU gedraagt zich fundamenteel anders bij versnippering door zijn elastische eigenschappen. ASA is in de doelgroepcontext nauwelijks aanwezig als relevante afvalstroom.

Het afval bestaat concreet uit mislukte prints, supports, brims en rafts van zowel PLA als PETG, verzameld uit eigen printactiviteit en via MAM Brugge. Bij aanvang van het onderzoek had MAM Brugge ongeveer tien kilogram printafval opgeslagen zonder verdere verwerking, wat de relevantie van de onderzoeksvraag in de praktijk bevestigt.

8.3 BEVRAGING VIA ONLINE ENQUÊTE

8.3.1 DOEL EN OPZET

Parallel aan de literatuurstudie werd een online enquête afgenomen bij makers, hobbyisten en gebruikers van FDM-3D-printers. Het doel van de bevraging was tweeledig. Enerzijds brengt ze in kaart hoe de doelgroep vandaag concreet omgaat met printafval: hoeveel ze produceren, wat ze ermee doen en of ze het al sorteren. Anderzijds peilt ze naar de drempels die makers ervaren rond recyclage en de mate waarin ze openstaan voor alternatieve verwerkingsmethodes. Die inzichten dienen als praktische onderbouwing voor de keuzes in het experimentele luik van het onderzoek.

De enquête werd opgesteld via Google Forms en bestond uit twaalf vragen. De vragen combineert meerkeuzevragen met open antwoordmogelijkheden. De thematische opbouw verliep als volgt: gebruikscontext en materiaalgebruik, hoeveelheid en huidige verwerking van printafval, sorteergedrag, bereidheid tot verandering, ervaring met hergebruik, drempels voor recyclage, motivaties en open feedback.

8.3.2 VERSPREIDING EN STEEKPROEF

De enquête werd verspreid via Facebookgroepen rond 3D-printing en via snowball sampling, waarbij contacten met 3D-printers de enquête doorstuurden naar anderen in hun netwerk met vergelijkbare interesse. Dit resulteerde in 40 respondenten.

De steekproef is niet statistisch representatief voor alle FDM-gebruikers, wat kenmerkend is voor een convenience sample binnen de context van een bachelorproef. Respondenten die via Facebookgroepen werden bereikt zijn vermoedelijk digitaal actiever en meer betrokken bij de 3D-printgemeenschap dan de gemiddelde gebruiker, wat de resultaten licht kan kleuren in de richting van meer bewustzijn rond afval en recyclage. De resultaten worden dan ook geïnterpreteerd als indicatief voor patronen binnen de onderzochte doelgroep en niet als volledig generaliseerbaar.

8.3.3 ANALYSE

De verzamelde data werd geanalyseerd via beschrijvende statistiek. Frequenties en verhoudingen per antwoordcategorie werden berekend om algemene tendensen zichtbaar te maken. De open antwoorden werden kwalitatief gelezen op terugkerende thema's en concrete ervaringen die relevant zijn voor de experimentele fase van het onderzoek.

8.4 MATERIAAL EXPERIMENTEN

8.4.1 VOORBEREIDING VAN HET MATERIAAL

Voor verwerking werd het printafval gesorteerd per materiaaltipe. PLA en PETG werden strikt gescheiden gehouden om zuivere vergelijking mogelijk te maken. Vervolgens werd het materiaal gereinigd en versnipperd tot kleinere fragmenten. Het versnipperen gebeurde via een combinatie van manueel breken en mechanische versnippering. De korrelgrootte van het versnipperde materiaal heeft een directe invloed op de homogeniteit van het eindproduct: fijnere deeltjes smelten gelijkmatiger samen dan grote brokken met luchtzakken ertussen.

8.4.2 VERWERKINGSMETHODES

Dit onderzoek verkent meerdere verwerkingsroutes voor FDM-printafval in een DIY-context. De focus ligt niet op één optimale methode maar op het in kaart brengen van wat mogelijk is met laagdrempelige middelen die beschikbaar zijn voor hobbyisten en kleine makerspaces. De volgende routes werden onderzocht:

Thermische compressie via een heatpress: het versnipperde materiaal werd geplaatst in een zelfgemaakte houten mal en onder druk verhit via de heatpress van MAM Brugge. Dit proces produceert massieve platen die als ruw materiaal kunnen dienen voor verdere bewerkingen zoals lasercutting.

Smelten en gieten in mallen: het materiaal werd gesmolten en gegoten in siliconen mallen om massieve vormen te produceren. Deze route onderzoekt of complexere vormen mogelijk zijn zonder filamentproductie.

Smelten via de oven: het versnipperde materiaal wordt in een hittebestendige mal in de oven verwarmd tot het samensmelt. Deze methode is bijzonder laagdrempelig omdat ze geen gespecialiseerde apparatuur vereist buiten een gewone keuken- of laboratoriumoven.

Mechanisch mengen via een blender: voor bepaalde toepassingen werd onderzocht of fijn vermalen materiaal via een blender een homogenere grondstof oplevert als inputmateriaal voor andere verwerkingsroutes.

Die brede aanpak sluit aan bij het uiteindelijke doel van het onderzoek: niet één enkele oplossing aanbieden maar aantonen wat er mogelijk is in een DIY-context en die kennis bundelen in een praktisch bruikbare datasheet voor makers.

8.4.3 TESTEN IN MAAKPROCESSEN

De geproduceerde materialen worden getest in andere maakprocessen om na te gaan of ze technisch bruikbaar zijn als ruw materiaal. De primaire focus ligt op lasercutting. CNC-frezen wordt waar mogelijk meegenomen. Bij elke test wordt gedocumenteerd hoe het materiaal zich gedraagt: smelt het, barst het, geeft het een zuivere snede of freesrand?

8.5 EVALUATIECRITERIA

De geproduceerde materialen en verwerkingsroutes worden beoordeeld op basis van zes criteria:

- Homogeniteit van het materiaal: zijn de deeltjes gelijkmatig versmolten of zijn er zichtbare grenzen en onregelmatigheden?
- Aanwezigheid van luchtbellen of zwakke zones: verminderen interne holtes de structurele integriteit?
- Brosheid en structurele sterkte: breekt het materiaal bij lichte mechanische belasting of is het voldoende stabiel om te bewerken?
- Verwerkbaarheid met lasercutting en frezen: kan het materiaal worden gesneden of gefreesd zonder te smelten, te branden of te barsten?
- Esthetische kwaliteit: ziet het materiaal er bruikbaar uit als eindmateriaal of halffabricaat voor creatieve toepassingen?
- Reproduceerbaarheid: kan het proces herhaald worden met consistent resultaat onder vergelijkbare omstandigheden en met middelen die beschikbaar zijn voor een hobbyist?

8.6 EINDPRODUCT: DATASHEET

De resultaten van de experimenten worden gebundeld in een praktische datasheet. Die datasheet geeft per materiaal en per verwerkingsmethode een overzicht van de procesparameters, de resultaten en de toepassingsmogelijkheden. Het doel is een concreet en toegankelijk naslagdocument te maken voor makers, hobbyisten en kleine makerspaces die zelf aan de slag willen met hun printafval. De datasheet positioneert zich bewust als een DIY-gericht document: geen laboratoriumrapport maar een praktische gids gebaseerd op eigen experimenten en gedocumenteerde observaties.

8.7 BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK

Dit onderzoek kent een aantal expliciete beperkingen. De experimenten werden uitgevoerd met beperkte hoeveelheden afval en een beperkt aantal testvarianten. Formele mechanische testen zoals treksterktemetingen of slagvastheidstesten vallen buiten de beschikbare infrastructuur en tijdshorizon van dit onderzoek. De evaluatie is daardoor voornamelijk visueel en praktijkgericht van aard, wat aansluit bij de doelgroep maar de vergelijkbaarheid met laboratoriumonderzoek beperkt.

De variabiliteit van het inputmateriaal is een inherente beperking. Printafval uit verschillende printers, merken en gebruikscontexten verschilt in samenstelling, kleur en kwaliteit, wat de reproduceerbaarheid van de resultaten beïnvloedt. Tot slot is de steekproef van de enquête beperkt tot 40 respondenten en niet statistisch representatief, wat betekent dat de resultaten indicatief zijn maar niet generaliseerbaar naar de volledige populatie van FDM-gebruikers.

9 RESULTATEN EN ANALYSE VAN DE FORM

9.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de twee onderzoek componenten: de online bevraging bij makers en hobbyisten en de praktische materiaalexperimenten. Beide componenten worden apart besproken en daarna in de discussie met elkaar in verband gebracht.

De bevraging leverde inzichten op over hoe makers in de praktijk omgaan met printafval, welke drempels ze ervaren en of ze openstaan voor alternatieve verwerkingsmethodes. De materiaalexperimenten testen concreet of FDM-printafval via verschillende DIY-verwerkingsroutes kan worden omgezet tot een bruikbaar ruw materiaal. De resultaten van de experimenten worden later aangevuld zodra alle testen zijn afgerond.

9.2 RESULTATEN VAN DE BEVRAGING

9.2.1 INLEIDING OP DE BEVRAGING

De online enquête werd ingevuld door 45 respondenten. De bevraging werd verspreid via Facebookgroepen rond 3D-printing, Mond-tot-mond en via mailing, waarbij respondenten de enquête doorgaven aan anderen in hun netwerk met vergelijkbare interesse. De steekproef is niet statistisch representatief voor alle FDM-gebruikers maar geeft een indicatief beeld van hoe makers en hobbyisten in de praktijk omgaan met printafval.

De vragen zijn opgebouwd rond drie thematische assen: het profiel van de gebruiker en zijn materiaalgebruik, het huidige gedrag rond printafval en sorteren, en de houding tegenover recyclage en alternatieve verwerkingsmethodes. Die opbouw laat toe om niet alleen te beschrijven wat mensen doen maar ook waarom ze het doen of laten, en wat hen zou motiveren om hun gedrag te veranderen.

De resultaten worden per vraag of per thematisch blok besproken, aangevuld met grafieken waar relevant. Bij elke grafiek wordt kort geduïd wat de data toont en wat dat betekent in de context van dit onderzoek.

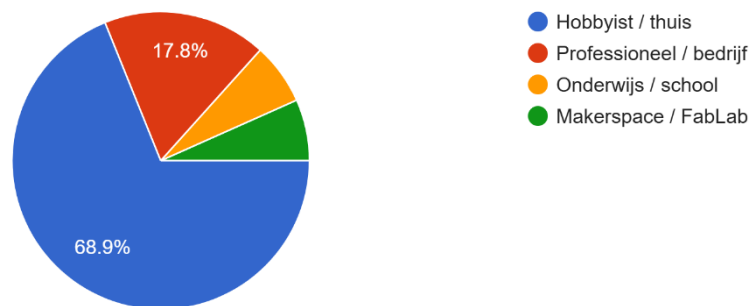
9.2.2 GEBRUIKSCONTEXT VAN DE RESPONDENTEN

Van de 45 respondenten geeft 68,9% aan een 3D-printer te gebruiken in een hobbyistische of thuiscontext, goed voor 31 personen. Professionele gebruikers vanuit een bedrijfscontext vertegenwoordigen 17,8%, wat neerkomt op 8 respondenten. Onderwijs of school en makerspaces en fablabs zijn elk vertegenwoordigd met een kleine maar relevante groep respondenten.

Ten opzichte van de eerste versie van de bevraging is de vertegenwoordiging van makerspaces en onderwijsinstellingen licht gestegen, wat te verklaren is doordat de enquête later ook gericht werd verspreid via die kanalen. De kern van de steekproef blijft hobbyistisch, wat aansluit bij de primaire doelgroep van dit onderzoek.

In welke context gebruik je een 3D-printer?

45 responses

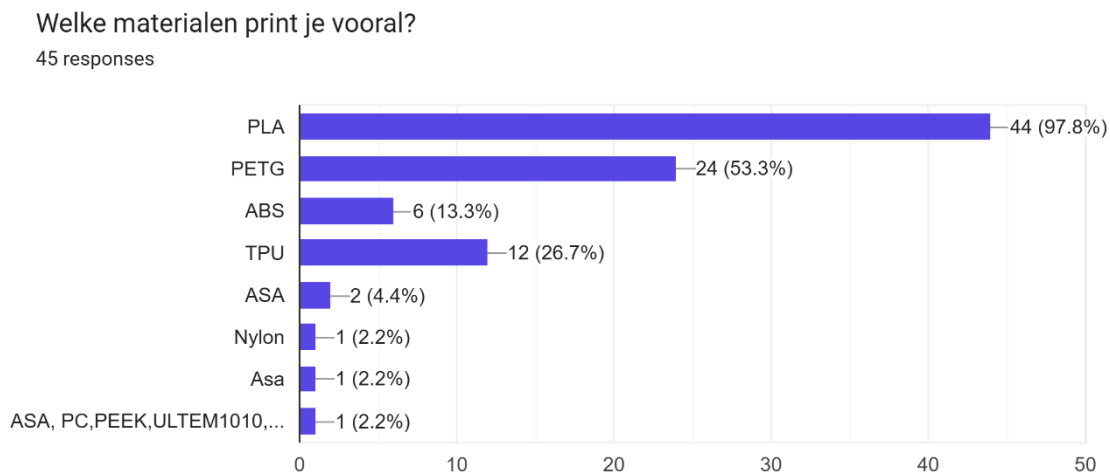


Figuur 2: resultaten op de vraag "In welke context gebruik je een 3D-printer?".

9.2.3 GEBRUIKTE MATERIALEN

De vraag over materiaalgebruik liet meerdere antwoorden toe, waardoor de percentages optellen tot meer dan 100%. PLA is met afstand het meest gebruikte materiaal: 44 van de 45 respondenten of 97,8% geeft aan ermee te printen. PETG volgt met 53,3%, gevolgd door TPU met 26,7% en ABS met 13,3%. ASA, nylon en specialistische materialen zoals PC en PEEK zijn met elk maximaal 4,4% marginaal vertegenwoordigd.

De verhoudingen blijven stabiel tegenover de vorige meting. PLA en PETG blijven samen de dominante materialen, wat de keuze om het experimentele luik tot die twee te beperken verder bevestigt. TPU blijft op 26,7% een relevante aanwezigheid binnen de doelgroep. Toekomstig onderzoek kan dat materiaal zeker meenemen als de scope wordt uitgebreid.



Figuur 3: resultaten op de vraag "Welke materialen print je vooral?".

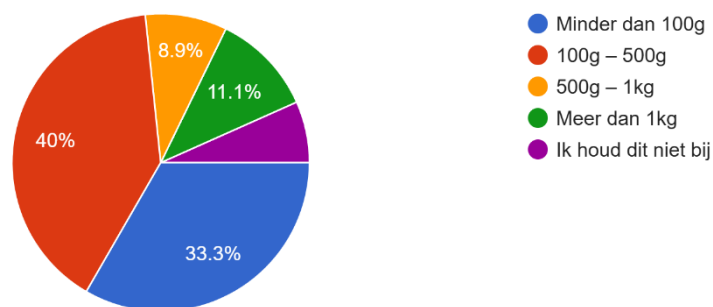
9.2.4 GESCHATTE HOEVEELHEID PRINTAFVAL PER MAAND

De grootste groep, 40% of 18 personen, schat tussen de 100 en 500 gram printafval per maand te produceren. 33,3% of 15 personen blijft onder de 100 gram. Samen produceert dus meer dan 73% van de respondenten tot 500 gram per maand. 11,1% of 5 personen produceert meer dan 1 kilogram per maand, 8,9% of 4 personen zit tussen 500 gram en 1 kilogram, en 6,7% of 3 personen houdt dit niet bij.

De verdeling blijft consistent met de vorige meting. Zelfs bij de laagste categorie gaat het over structureel geproduceerd afval. Een hobbyist die maandelijks 100 gram weggooit komt op jaarbasis aan 1,2 kilogram per gebruiker.

Hoeveel printafval schat je dat je gemiddeld per maand produceert?

45 responses



Figuur 4: resultaten op de vraag "Hoeveel printafval schat je dat je gemiddeld per maand produceert?".

9.2.5 HUIDIG GEDRAG ROND PRINTAFVAL

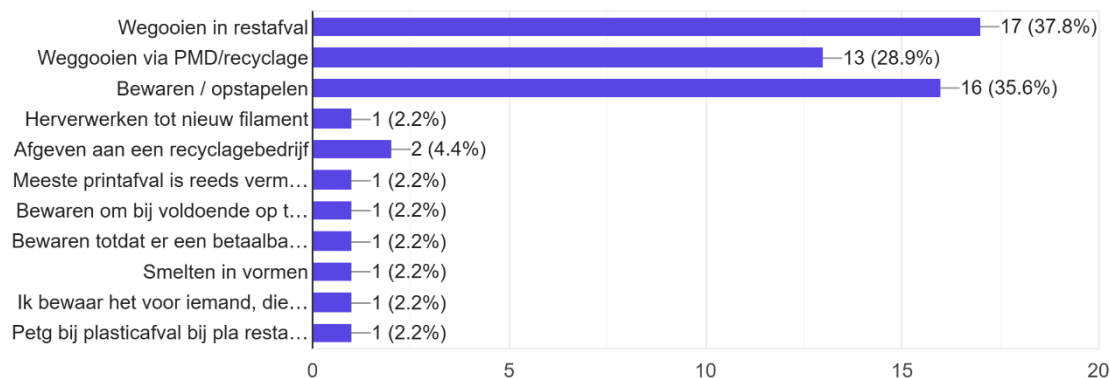
Ook hier waren meerdere antwoorden mogelijk. De drie dominante gedragspatronen zijn duidelijk: 37,8% of 17 personen gooit printafval weg in het restafval, 35,6% of 16 personen bewaart of stapelt het op zonder verdere verwerking, en 28,9% of 13 personen deponeert het via PMD of recyclage. Samen betekent dit dat het overgrote deel van de respondenten geen actieve verwerkingsoplossing heeft voor zijn printafval. Het belandt in de vuilnisbak, in de recyclagecontainer waar het technisch niet thuishoort, of het stapelt zich op in een hoek van het atelier.

Slechts 1 respondent geeft aan printafval te herwerken tot nieuw filament, en 2 respondenten geven het af aan een recyclagebedrijf. Dat zijn de enige twee antwoorden die wijzen op een actieve en doelbewuste verwerking van het afval. De open antwoorden tonen wel enkele interessante individuele initiatieven. Iemand bewaart het printafval voor een kennis die het omsmelt en giet in mallen, iemand anders bewaart het tot er een betaalbare oplossing op de markt komt, en één respondent heeft het meeste afval al vermalen tot granulaat. Dat zijn uitzonderingen, maar ze tonen aan dat er mensen zijn die nadenken over wat er met dat afval kan gebeuren.

Het feit dat 35,6% het afval actief bewaart is een van de meest opvallende resultaten uit de hele bevraging. Die mensen gooien het niet weg maar ze weten ook niet wat ze ermee moeten doen. Ze wachten op een oplossing. Dat is precies de doelgroep voor wie dit onderzoek een concreet en toegankelijk antwoord wil bieden. De combinatie van opstapelaars en restafvalweggooiers toont aan dat er geen standaard eindbestemming bestaat voor FDM-printafval in een hobbyistische of kleinschalige maakcontext, wat de relevantie van een praktisch toepasbare verwerkingsroute alleen maar versterkt.

Wat doe je momenteel met je printafval (mislukte prints, supports, testen)?

45 responses



Figuur 5: resultaten op de vraag "Wat doe je momenteel met je printafval (mislukte prints, supports, testen)?".

9.2.6 SORTEERGEDRAG PER MATERIAALTYPE

44,4% of 20 respondentent sorteer zijn printafval helemaal niet, alles gaat door elkaar. 17,8% of 8 personen print enkel met één materiaal en hoeft dus niet te sorteren. 20% of 9 personen sorteer altijd, en 17,8% of 8 personen probeert het maar niet consequent.

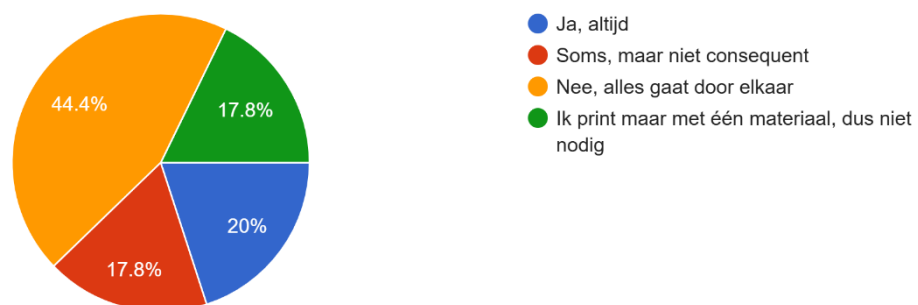
Dat is een belangrijk gegeven voor dit onderzoek. Sorteren per materiaal is een basisvereiste als je printafval op een zinvolle manier wil herwerken. Gemengd afval van PLA en PETG levert een eindproduct van onvoorspelbare kwaliteit op, wat de bruikbaarheid voor lasercutting of andere maakprocessen sterk vermindert. De data toont dat de meeste gebruikers dat niet doen, maar niet uit onwil. Er was tot nu toe gewoon geen reden om het te doen omdat er geen verwerkingsroute bestond waarvoor sorteren nodig was.

Ten opzichte van de vorige meting is het percentage dat altijd sorteer licht gestegen van 20% naar 20%, en het percentage dat nooit sorteer licht gedaald van 47,5% naar 44,4%. Die verschuiving is klein maar gaat wel in de goede richting. Het aandeel dat met één materiaal print en dus niet hoeft te sorteren stijgt ook licht, wat verklaard kan worden door de toevoeging van meer professionele gebruikers en makerspace-respondenten die vaker met meerdere materialen werken maar hun afvalstroom beter beheren.

Dit onderstreept dat een praktisch toepasbare oplossing voor printafval ook moet nadenken over hoe sorteren laagdrempeliger wordt. Een aparte bak per materiaal naast de printer is eenvoudig en kost niets extra, maar dat gedrag moet wel gestimuleerd worden door er een duidelijk doel aan te koppelen.

Sorteer je je printafval al per materiaaltipe (bv. PLA apart van PETG)?

45 responses



Figuur 6: resultaten op de vraag "Sorteer je je printafval al per materiaaltipe (bv. PLA apart van PETG)?".

9.2.7 BEREIDHEID OM TE SORTEREN

Dit is een van de meest bemoedigende resultaten uit de bevraging. Ondanks het feit dat 44,4% momenteel helemaal niet sorteert, geeft 57,8% of 26 personen aan dat ze dat geen probleem zouden vinden als het recyclageproces hierdoor eenvoudiger wordt. Nog eens 22,2% of 10 personen is bereid mee te doen op voorwaarde dat het niet te veel extra werk vraagt. Samen is dat 80% van de respondenten die openstaan voor sorteren.

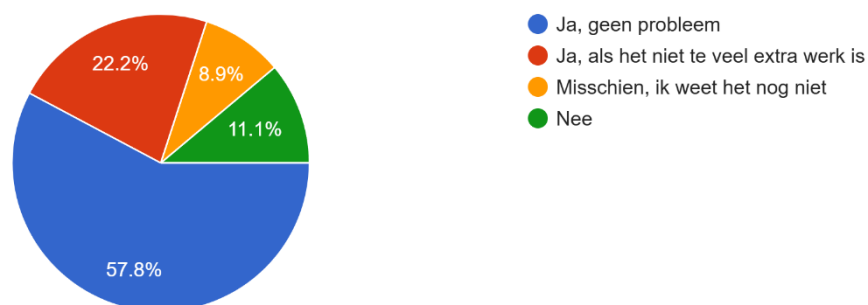
Ten opzichte van de vorige meting is dat zelfs licht gestegen, van 77,5% naar 80%. Dat is een kleine maar consistente verschuiving die aangeeft dat de bereidheid om mee te stappen in een alternatieve verwerkingsroute breed gedragen is.

Dat contrast met de vorige vraag is veelzeggend. Mensen sorteren niet omdat er geen reden voor is, niet omdat ze er niet toe bereid zijn. Zodra er een duidelijk doel aan gekoppeld is, namelijk een werkend en toegankelijk verwerkingsproces, is de bereidheid groot. Slechts 11,1% of 5 personen zegt nee, en 8,9% of 4 personen twijfelt nog.

Dit is een belangrijk signaal voor de praktische haalbaarheid van dit onderzoek. De stap naar sorteren per materiaaltipe is voor de meeste gebruikers geen drempel, zolang de verwerkingsstap die erop volgt laagdrempelig en concreet is. Een aparte bak per materiaal naast de printer kost niets en vraagt nauwelijks extra moeite. Wat mensen nodig hebben is een reden om het te doen, en die reden is precies wat dit onderzoek wil aanbieden.

Zou je bereid zijn je printafval te sorteren per materiaal als het recyclageproces hierdoor eenvoudiger wordt?

45 responses



Figuur 7: resultaten op de vraag "Zou je bereid zijn je printafval te sorteren per materiaal als het recyclageproces hierdoor eenvoudiger wordt?".

9.2.8 ERVARING MET HET HERGEBRUIKEN VAN PRINTAFVAL

44,4% of 20 respondenten heeft nog nooit geëxperimenteerd met het hergebruiken van printafval maar overweegt het wel. 31,1% of 14 personen heeft het nog niet gedaan en ziet er momenteel geen reden toe. 15,6% of 7 personen heeft het ooit eenmalig geprobeerd als test, en 8,9% of 4 personen doet het regelmatig.

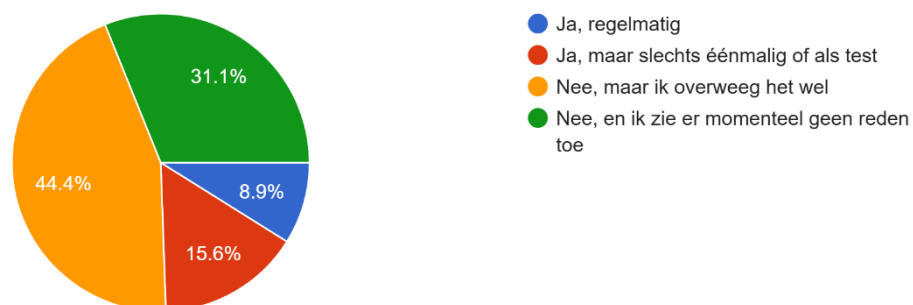
Ten opzichte van de vorige meting is het aandeel dat het regelmatig doet gestegen van 2,5% naar 8,9%. Dat is een opvallende stijging die verklaard wordt door de toevoeging van makerspace- en professionele respondenten, die vaker al actief experimenteren met hergebruik. In de hobbyistische kern van de steekproef blijft het beeld echter hetzelfde: de interesse is er maar de concrete handvatten ontbreken.

Dat bijna niemand actief bezig is met het hergebruiken van printafval is niet verrassend gegeven de drempels die in de vorige vragen aan bod kwamen. De 31,1% die er geen reden toe ziet is ook interessant: die groep heeft waarschijnlijk gewoon nog nooit een concrete en toegankelijke manier gezien om het te doen. Dat is geen desinteresse maar een gebrek aan informatie en een werkbare aanpak.

Precies daar wil dit onderzoek iets aan doen. Niet door mensen te overtuigen dat recyclage belangrijk is, maar door te laten zien wat er concreet mogelijk is met gewone middelen die de meeste makers al in huis hebben, en die kennis te bundelen in een datasheet die voor iedereen vrij beschikbaar is.

Heb je al eens geëxperimenteerd met het hergebruiken van printafval?

45 responses



Figuur 8: resultaten op de vraag "Heb je al eens geëxperimenteerd met het hergebruiken van printafval?"

9.2.9 DREMPELS VOOR HET RECYCLEREN VAN PRINTAFVAL

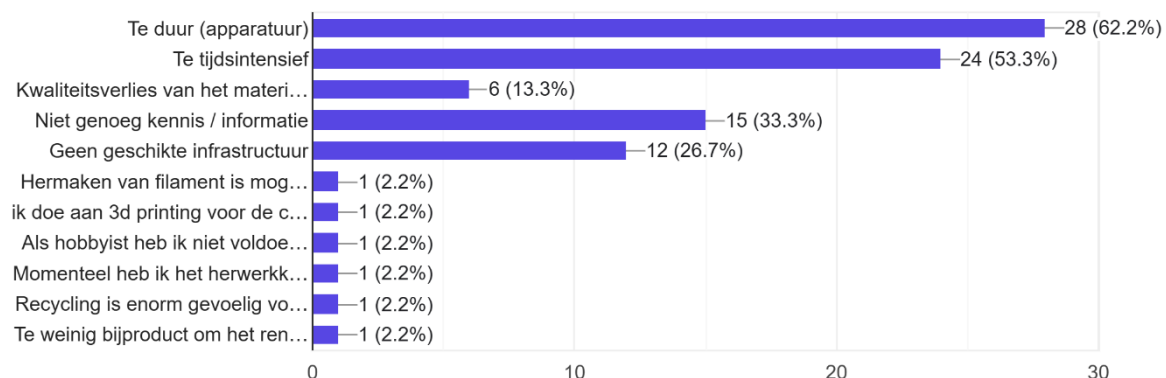
Twee drempels springen er duidelijk bovenuit. 62,2% of 28 respondenten vindt de apparatuur te duur, en 53,3% of 24 respondenten vindt het te tijdsintensief. Daarna volgt een gebrek aan kennis of informatie met 33,3% of 15 personen, en een gebrek aan geschikte infrastructuur met 26,7% of 12 personen. Kwaliteitsverlies van het materiaal wordt door 13,3% of 6 personen als drempel gezien.

De open antwoorden voegen daar een paar interessante nuances aan toe. Iemand geeft aan dat hij als hobbyist gewoon niet voldoende afval heeft om de investering te rechtvaardigen. Een ander wijst erop dat 3D-printing voor hem gaat over het creatieve proces en dat de omzetting van printafval naar een werkbaar materiaal een volledig andere toolchain vereist met veel ruimte en materiaal. Dat zijn eerlijke en relevante kanttekeningen die aantonen dat recyclage niet voor iedereen even urgent of haalbaar is.

Het is dus niet dat mensen twijfelen aan de kwaliteit van gerecycled materiaal, het is dat ze niet weten hoe ze eraan moeten beginnen en dat het duur en tijdrovend aanvoelt. Een filamentrecycler kost al snel 300 euro of meer en vereist ook tijd voor het drogen, versnipperen en extruderen. Dat is voor een hobbyist een te hoge drempel. Dat is exact de reden waarom dit onderzoek focust op verwerkingsroutes die werken met middelen die de meeste makers al hebben, zoals een oven, een mal of een heatpress.

Wat is volgens jou de grootste drempel voor het recyclen van printafval?

45 responses



Figuur 9: resultaten op de vraag "Wat is volgens jou de grootste drempel voor het recyclen van printafval?".

:

9.2.10 GEBRUIK VAN GERECYCLEERD FILAMENT

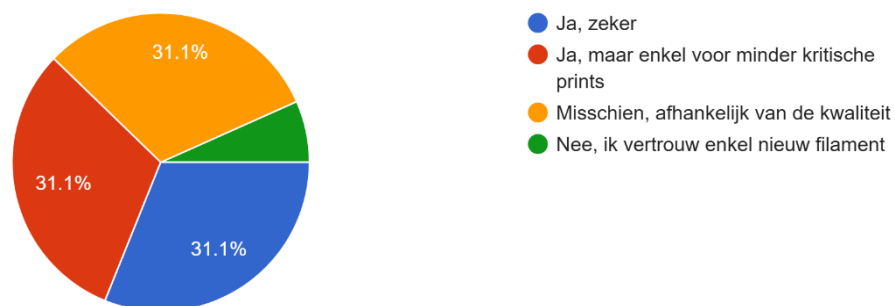
De vraag of respondenten gerecycleerd filament zouden gebruiken als het beschikbaar was, toont een opvallend verdeeld maar positief beeld. Drie antwoordcategorieën scoren exact gelijk op 31,1% of 14 personen elk: ja zeker, ja maar enkel voor minder kritische prints, en misschien afhankelijk van de kwaliteit. Slechts 6,7% of 3 personen vertrouwt enkel nieuw filament en zou gerecycleerd filament niet gebruiken.

Dat betekent dat meer dan 93% van de respondenten openstaat voor het gebruik van gerecycleerd filament, mits de kwaliteit voldoende is of voor de juiste toepassing. Dat is een sterk signaal. De groep die het enkel voor minder kritische prints zou gebruiken is even groot als de groep die het zonder voorbehoud zou gebruiken, wat aangeeft dat kwaliteitsonzekerheid wel degelijk een rol speelt in de beslissing maar geen absolute blokkade vormt.

Dit sluit aan bij de drempelvraag waar kwaliteitsverlies relatief laag scoorde als hoofddrempel. Mensen vrezen kwaliteitsverlies wel, maar het weerhoudt hen er niet van om gerecycleerd materiaal te overwegen. Ze willen het gewoon voor de juiste toepassing kunnen inzetten, wat een realistisch en pragmatisch standpunt is.

Zou je gerecycleerd filament (van printafval) gebruiken als het beschikbaar was?

45 responses



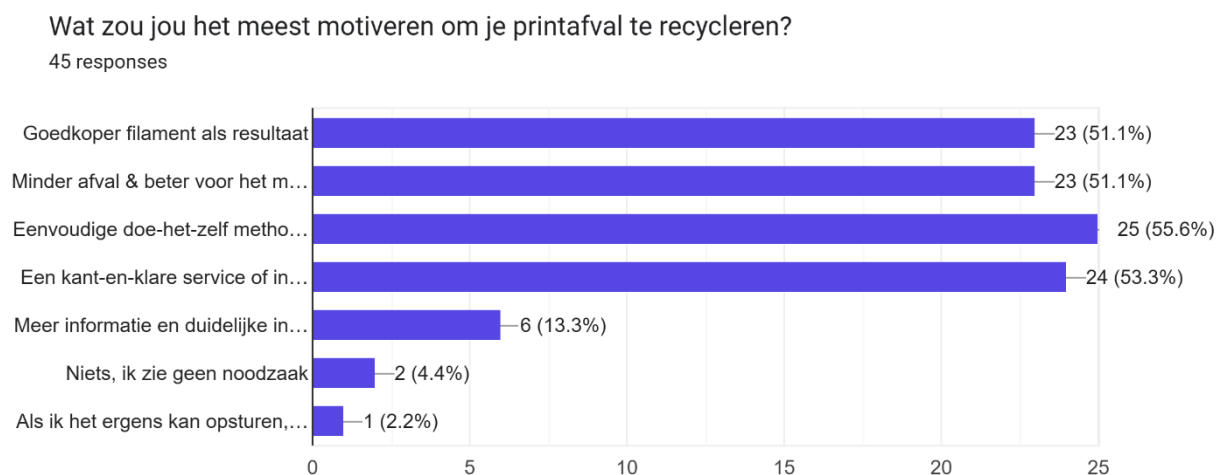
Figuur 10: resultaten op de vraag "Zou je gerecycleerd filament (van printafval) gebruiken als het beschikbaar was?".

9.2.11 MOTIVATIE OM PRINTAFVAL TE RECYCLEREN

Ook hier waren meerdere antwoorden mogelijk. Vier motivaties scoren nagenoeg gelijk en vertegenwoordigen elk meer dan de helft van de respondenten. Een eenvoudige doe-het-zelf methode scoort het hoogst met 55,6% of 25 personen. Een kant-en-klare service of inzamelpunt volgt met 53,3% of 24 personen. Goedkoper filament als resultaat en minder afval en beter voor het milieu scoren beide 51,1% of 23 personen. Meer informatie en duidelijke instructies wordt door 13,3% of 6 personen genoemd. Slechts 4,4% of 2 personen ziet er geen noodzaak in.

Wat opvalt is dat een eenvoudige doe-het-zelf methode het hoogst scoort, nog voor een kant-en-klare service. Dat toont dat de doelgroep niet per se wil wachten op een externe oplossing maar zelf aan de slag wil, op voorwaarde dat het haalbaar en begrijpelijk is. De milieumotivatie en de kostenbesparing scoren even hoog, wat aangeeft dat mensen zowel praktisch als bewust denken over hun printafval.

Dat vier motivaties zo gelijkwaardig en hoog scoren is ook een signaal dat er niet één enkele drempelverlagende factor is. Makers kunnen vanuit verschillende invalshoeken gemotiveerd worden, wat de brede aanpak van dit onderzoek bevestigt. Niet één oplossing aanbieden maar meerdere laagdrempelige routes documenteren en toegankelijk maken via een datasheet die inspeelt op al die motivaties tegelijk.



Figuur 11: resultaten op de vraag "Wat zou jou het meest motiveren om je printafval te recyclen?"

9.2.12 ERVARING MET KWALITEITSVERSCHILLEN BIJ HERGEBRUIKT MATERIAAL

De meeste respondenten hebben geen directe ervaring met kwaliteitsverschillen bij het printen met oud of hergebruikt materiaal. Het grootste deel antwoordt simpelweg nee of geeft aan het nog nooit geprobeerd te hebben.

Toch zijn er een paar opmerkelijke antwoorden. Één respondent merkte dat hergebruikt materiaal brozer wordt, een ander ondervond meer stringing. Iemand beschreef dat oud filament vochtiger is en moeilijker te verwerken, ook na drogen. Dat sluit aan bij wat de literatuur zegt over materiaaldegradatie bij herverwerking, waarbij herhaald verhitten leidt tot een verlaging van het moleculairgewicht en een afname van de mechanische eigenschappen (Janutėnienė et al., 2024).

Eén respondent valt op omdat die al verder ging dan de rest: hij heeft printafval vermalen tot granulaat en geëxperimenteerd met het persen van plaatmateriaal om kleine meubeltjes van te maken. Dat is precies de richting waar dit onderzoek naartoe gaat, en het bewijst dat er buiten de academische context al mensen zijn die op dezelfde manier denken.

Iemand anders heeft gerecycleerd PLA-filament van het merk Sunlu gebruikt en geen problemen ondervonden, wat aangeeft dat industrieel gerecycleerd filament intussen een aanvaardbare kwaliteit kan bieden. Dat bevestigt dat de markt op dit vlak aan het evolueren is, maar het lost het probleem van printafval bij de individuele gebruiker nog niet op.

9.2.13 OPMERKINGEN, TIPS EN ERVARINGEN

De meeste respondenten lieten dit veld leeg. De open antwoorden die er wél staan zijn inhoudelijk waardevol en bevestigen de richting van dit onderzoek op een aantal punten.

Meerdere respondenten wijzen op het gebrek aan duidelijkheid over wat er met printafval mag en kan. De ene zegt containerpark, de andere beweert PMD, er is te veel onduidelijkheid. Dat bevestigt de nood aan een helder naslagdocument, precies wat dit onderzoek als eindproduct wil opleveren.

Twee respondenten vragen om een inleverpunt in de buurt, één in België en één in Nederland, en voegen eraan toe dat zoiets gratis zou moeten zijn. Die infrastructuur bestaat momenteel gewoon niet voor kleine hobbygebruikers.

De meest opvallende reactie komt van een respondent die het persen van plastic platen met printafval spontaan noemt als veelbelovend alternatief en expliciet verwijst naar CNC en lasercutting. Hij voegt toe dat persen dikwijls minder complex is dan consistent filament van 1,75 mm produceren. Dat iemand buiten dit onderzoek spontaan dezelfde conclusie trekt bevestigt dat de aanpak aansluit bij een echte nood.

Tot slot wijst iemand op bestaande initiatieven in Nederland en Duitsland, wat aangeeft dat dit thema ook internationaal leeft.

9.2.14 CONCLUSIE BEVRAGING

Als we de resultaten van de bevraging naast elkaar legt, tekent zich een duidelijk beeld af. De 45 respondenten zijn voor het overgrote deel hobbyisten die thuis printen en bijna allemaal met PLA printen. Ze produceren maandelijks een niet te verwaarlozen hoeveelheid afval, maar de meesten gooien het gewoon weg of laten het opstapelen omdat ze niet weten wat ze ermee moeten doen.

Dat is niet omdat ze het niet willen aanpakken. Bijna 36% bewaart het afval actief in de hoop ooit een oplossing te vinden. En als die oplossing laagdrempelig genoeg is, zijn ze ook bereid om te sorteren per materiaal, iets wat nu 44% helemaal niet doet. 80% staat open voor sorteren zodra er een concreet doel aan gekoppeld is. De bereidheid is er dus, maar de concrete handvatten ontbreken.

De drempels zijn even duidelijk: de apparatuur voor filamentrecyclage is te duur voor 62% van de respondenten, het proces vraagt te veel tijd voor 53%, en een derde weet gewoon niet hoe ze eraan moeten beginnen. Kwaliteitsverlies wordt nauwelijks als probleem gezien, wat opvallend is want dat is net wat de literatuur aanduidt als een van de voornaamste zwaktes van filamentrecyclage.

Wat ook opvalt is dat de vier voornaamste motivaties om te recyclen nagenoeg even hoog scoren: een eenvoudige doe-het-zelf methode, een kant-en-klare service, goedkoper filament en minder afval voor het milieu krijgen elk meer dan 50% steun. Dat toont dat makers vanuit verschillende invalshoeken gemotiveerd kunnen worden en dat er geen één enkele drempelverlagende factor is.

Een aantal respondenten denkt zelf al in de richting van dit onderzoek. Iemand experimenteerde al met het persen van plaatmateriaal voor CNC en laser, en een andere respondent beschreef spontaan dat persen veel haalbaarder is dan consistent filament maken. Die reacties komen niet uit de literatuur maar uit de praktijk, en ze bevestigen dat de aanpak van dit onderzoek aansluit bij een echte nood in de community.

Kort samengevat: de bevraging toont aan dat printafval een reëel en breed gedragen probleem is binnen de hobbyistengemeenschap, dat de klassieke oplossingen te hoog gegrepen zijn voor de gemiddelde gebruiker, en dat er duidelijk vraag is naar een eenvoudige, betaalbare en gedocumenteerde verwerkingsroute. Dat is exact wat dit onderzoek wil bieden.

9.3 RESULTATEN VAN DE MATERIAALEXPERIMENTEN

9.3.1 INLEIDING OP DE EXPERIMENTEN

Voor het experimentele luik van dit onderzoek ben ik zelf aan de slag gegaan met het herwerken van FDM-printafval via verschillende methodes. Daarbij had ik steeds dezelfde insteek in het achterhoofd: de herwerkingsmethodes die ik test zijn op zich niet nieuw. Thermische compressie, smelten in mallen en gieten worden al jaren toegepast in de bredere plasticverwerking. Wat dit onderzoek specifiek maakt is dat die methodes hier worden toegepast op FDM-printafval van PLA en PETG, de materialen die het meest voorkomen bij de doelgroep van hobbyisten en makerspaces.

De experimenten werden uitgevoerd met zowel PLA als PETG, apart en gemengd, via vier verwerkingsroutes: thermische compressie via een heatpress in een zelfgemaakte mal, smelten in de oven, gieten in siliconen mallen en het produceren van platen via een plaatmal. Die platen vormen de basis voor verdere testen met lasercutting, die op het moment van schrijven nog niet zijn afgerond.

De resultaten per methode en per materiaal worden in de volgende secties apart besproken.

9.3.2 VOORBEREIDING VAN HET MATERIAAL

Voor de voorbereiding van het printafval heb ik twee aanpakken getest: het materiaal gebruiken op de grootte zoals het was, en het fijnmalen via een blender.

Het fijnmalen bleek niet altijd mogelijk. Sommige gefaalde prints zijn te groot en te massief om direct in een blender te verwerken. Die stukken moesten eerst manueel gebroken worden voor ze bruikbaar waren. Niet elk stuk afval is dus bruikbaar zonder extra voorbereiding, wat een realistische beperking is waar ook de doelgroep rekening mee moet houden.

Voor het fijnmalen ben ik bewust voor een blender gegaan in plaats van een professionele shredder. Een goede shredder voor kunststof is namelijk enorm duur en staat ver van wat haalbaar is voor een hobbyist of kleine makerspace. Tenzij je er zelf één bouwt, is dat geen realistische optie voor de doelgroep van dit onderzoek. Ik ben op zoek gegaan naar een tweedehands blender die sterk en groot genoeg was voor deze toepassing. Uiteindelijk heb ik gekozen voor een glazen blender, omdat glas sterk genoeg is om de kracht van het rondvliegende plastic op te vangen zonder te beschadigen.

Het is wel goed om te vermelden dat de markt op dit vlak aan het bewegen is. Tijdens het verloop van dit onderzoek bracht Creality, bekend van hun 3D-printers en filament, een DIY-systeem op de markt om printafval te verwerken. Hun Shredder R1 is een aparte versnipperaar die gecombineerd kan worden met een tool om het materiaal terug tot filament op een rol te wikkelen. Op het moment van schrijven heeft de Shredder R1 een kostprijs van 499 dollar. Dat is nog altijd een serieuze investering, maar het is wel een stap in de goede richting en toont aan dat er ook commercieel interesse groeit in toegankelijke recyclageoplossingen voor de hobbyistmarkt. Vergelijkbare systemen bestaan al langer maar zijn vaak onbetrouwbaar voor een consistent resultaat en ook aan de dure kant.

9.3.3 EXPERIMENT 1 — THERMISCHE COMPRESSIE VIA HEATPRESS

Test #	Materiaal	Gewicht	Vorbereiding	mal	Temp.	Tijd	Score
1	Gemengd	50g	Stukken zoals ze waren	Zonder mal	220°C	5 min	3
2	PLA	50g	Stukken zoals ze waren	Zonder mal	220°C	4 min	3
3	PLA	150g	Stukken zoals ze waren	Stalen plaatmal	230°C	3min	2
4	PETG	150g	Gesmolten in pan, daarna in mal	Stalen plaatmal + klemmen	240°C	20 min	1
5	PETG	150g	Hergebruikt van test 4	Stalen plaatmal	230°C	20 min	1
6	PLA	170g	Stukken zoals ze waren	Stalen plaatmal	200°C	6 min	5

BEVINDINGEN PER TEST

Test 1 — Gemengd, zonder mal, 220°C, 5 min Het materiaal smolt in een ronde maar redelijk gelijkmatige vorm. De randen hadden ongelijke diktes wat wijst op onvoldoende spreiding zonder mal.

Test 2 — PLA, zonder mal, 220°C, 4 min Zelfde resultaat als test 1. Zonder mal is het eindresultaat onvoorspelbaar van vorm en dikte, ongeacht het materiaal.

Test 3 — PLA, stalen plaatmal, 230°C, 3 min Eerste pres zonder bovenplaat, tweede met. Zonder bovenplaat onvoldoende resultaat. De zijde in contact met het hitte-element was mooi gesmolten maar de onderkant toonde nog de aftekeningen van het afval. Perstijd van 3 minuten was te kort.

Test 4 — PETG, pan + plaatmal met klemmen, 240°C, 20 min Het plastic werd eerst gesmolten in een pan op een siliconen mat, daarna overgebracht in de voorverwarmde plaatmal en vastgespannen met klemmen. De gelijkmatige druk via de klemmen werkte goed. Maar na afkoeling was de plaat heel broos en brak in twee bij het loshalen. Ook bleven er resten kleven aan de mal.

Test 5 — PETG, stalen plaatmal, 230°C, 20 min Het afval van test 4 werd hergebruikt voor een directe heatpress poging. Wederom gefaald. PETG bleef kleven aan de stalen mal en kraakte direct kapot bij het loshalen. PETG wordt te fragiel na herverwerking via druk en warmte.

Test 6 — PLA, stalen plaatmal, 200°C, 6 min De beste score van alle heatpresstesten. PLA smolt snel en gelijkmatig bij 200°C met 20 minuten perstijd. Het eindresultaat was bruikbaar als plaatmateriaal.

CONCLUSIE

De heatpress met stalen plaatmal levert voor PLA de beste resultaten, met test 6 als duidelijk hoogtepunt. 200°C gedurende 6 minuten met bovenplaat is de optimale combinatie. Hogere temperaturen en kortere tijden geven consequent slechtere resultaten. PETG is via beide aanpakken niet bruikbaar gebleken.

Zowel via de pan-naar-mal methode als via directe heatpress brak de plaat bij het loshalen. Het materiaal wordt te fragiel en hecht sterk aan stalen oppervlakken. Een siliconen tussenlaag is een mogelijke oplossing die verder onderzoek verdient. Zonder mal is de heatpress alleen geschikt voor kleine hoeveelheden waarbij vorm en dikte niet kritisch zijn.

KOPPELING MET LITERATUUR

Te hoge temperaturen bij herverwerking van PLA leiden tot versnelde degradatie van de polymeerketen, wat de voorkeur voor 200°C boven 230°C verklaart (Hidalgo-Carvajal et al., 2023). De brosheid van PETG na herverwerking sluit aan bij onderzoek dat aantoont dat de slagvastheid van gerecycleerd PETG met tot 58% kan dalen (Mishra et al., 2023). Uniforme druk via een bovenplaat is essentieel voor een homogeen eindproduct bij thermische compressie (Hassan et al., 2024).



Figuur 12: Test 5 met PETG in stalen mal



Figuur 13: Heatpress tests met PLA

9.3.4 EXPERIMENT 2 — COMPRESSIE IN BLOK MAL

Test #	Materiaal	Gewicht	Vorbereiding	Temp.	Tijd	Score
1	Gemengd	400g	Stukken zoals ze waren	210°C	10 min	3

BEVINDINGEN

Het afval werd eerst in de oven gesmolten op 210°C gedurende 10 minuten. Na het smelten was het materiaal kneedbaar genoeg om manueel in de houten mal te duwen en te vormen. De mal bestaat uit vier houten latten die samen een rechthoekige vorm afbakenen. Het plastic werd actief gekneet en ingedrukt om de mal volledig te vullen.

Het eindresultaat is een massief blok van gemengd PLA en PETG met duidelijk zichtbare kleurlagen die door elkaar lopen. De kleuren zijn donker en gemengd door de combinatie van verschillende materialen. Visueel geeft dit een interessant maar onvoorspelbaar resultaat.

Een belangrijk aandachtspunt bij deze methode is de hoeveelheid inputmateriaal. Om een bruikbaar massief blok te produceren heb je aanzienlijk meer afval nodig dan bij de andere methodes. Dit maakt de methode minder geschikt voor gebruikers met kleine hoeveelheden printafval.

Het blok is nog niet nabewerkt via frezen. Dat vormt een volgende teststap waarbij onderzocht wordt of het materiaal sterk genoeg is om te frezen zonder te breken of te rafelen.

CONCLUSIE

De houten blokmal is een laagdrempelige en volledig zelfgemaakte oplossing die geen speciale apparatuur vereist buiten een gewone oven. De methode werkt maar heeft twee duidelijke beperkingen: je hebt veel inputmateriaal nodig voor een bruikbaar blok, en het eindresultaat is qua vorm beperkt tot wat je manueel kan kneden en duwen. De bruikbaarheid voor verdere nabewerking zoals frezen wordt in een volgende test onderzocht.

KOPPELING MET LITERATUUR

Het manueel kneden van gesmolten materiaal in een mal is vergelijkbaar met laagdrempelige compression molding technieken beschreven in de literatuur (Hassan et al., 2024). De nood aan grote hoeveelheden inputmateriaal is consistent met de lage densiteit van FDM-printafval door interne structuren en infill (Prasad et al., 2024).



Figuur 14: houten blokvorm mal met gepreste blok plastic.

9.3.5 EXPERIMENT 3 — SMELTEN IN SILICONEN MALLEN

Test #	Materiaal	Gewicht	Vorbereiding	Temp.	Tijd	Score
1	PLA	72g	Stukken zoals ze waren	200°C	40 min	2
2	Gemengd	76g	Stukken zoals ze waren	210°C	40 min	4
3	Gemengd	74g	Stukken zoals ze waren	210°C	40 min	3
4	PLA	68g	Fijngemalen in blender	250°C	20 min	4
5	Gemengd	70g	Fijngemalen in blender	200°C	40 min	4

BEVINDINGEN

De siliconen mal is van alle geteste methodes de meest toegankelijke en consistentste aanpak gebleken. Het materiaal hecht niet aan silicone, wat het uitvormen sterk vereenvoudigt en beschadiging van het eindproduct voorkomt.

Test 1 — PLA, 200°C Het materiaal smolt niet volledig door. 200°C is te laag voor puur PLA in grotere stukken. Onbruikbaar resultaat.

Test 2 — Gemengd, 210°C Goed resultaat. De materialen smolten mooi in elkaar met weinig bubbels en nauwelijks afbrokkeling.

Test 3 — Gemengd, 210°C Matig resultaat. Het plastic smolt samen maar er ontstonden bubbels en afbrokkende randen. De aanwezigheid van verschillende materialen was zichtbaar in het eindproduct.

Test 4 — PLA, fijngemalen, 225°C Het vooraf fijnmalen in een blender zorgde voor een gelijkmatiger smeltproces. Het materiaal vloeiده makkelijker in de mal. Het visuele resultaat is wel anders dan bij grovere stukken door de kleinere deeltjesgrootte.

Test 5 — Gemengd, 200°C Goed resultaat ondanks de lagere temperatuur. Wel viel op dat sterk gemengde kleuren een minder levendig eindresultaat geven. Sorteren op kleurgroep is aan te raden als esthetiek een rol speelt.

CONCLUSIE SILICONEN MAL

De siliconen mal in de oven is de meest laagdrempelige verwerkingsmethode van alle geteste aanpakken. De methode vereist geen speciale apparatuur buiten een gewone oven en een siliconen mal, beide beschikbaar voor de gemiddelde hobbyist of makerspace.

De beste resultaten worden bereikt bij een temperatuur tussen 210 en 225°C, met voorgemalen materiaal en een baktijd van 20 tot 40 minuten afhankelijk van de deeltjesgrootte. Gemengd materiaal geeft over het algemeen betere resultaten dan puur PLA op lagere temperaturen, wat mogelijk verklaard wordt door de verschillende smeltpunten van de aanwezige materialen die samen een bredere smeltzone creëren.

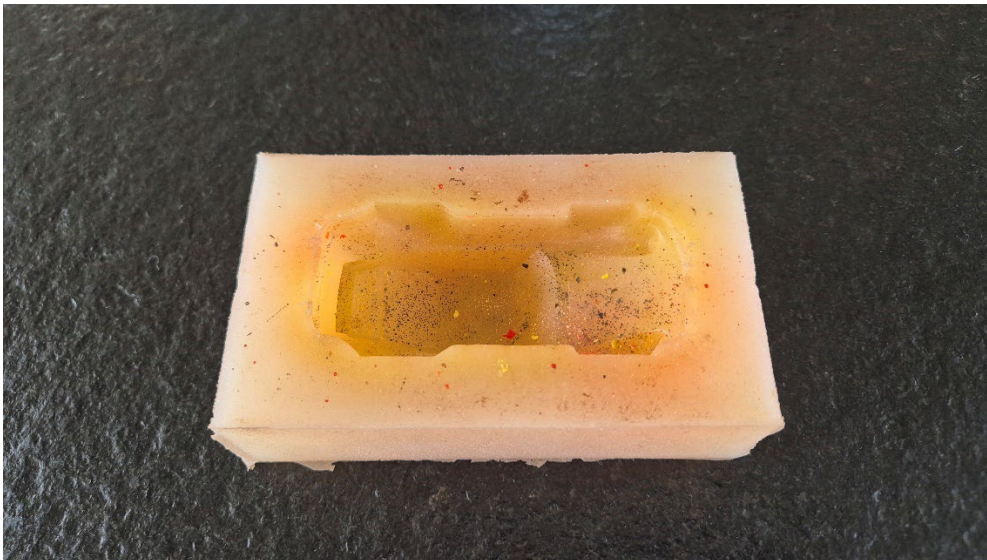
De voornaamste beperkingen zijn de beperkte maatvoering afhankelijk van de beschikbare mal, de esthetische onvoorspelbaarheid bij sterk gemengde kleuren, en de kans op bubbels bij onvoldoende fijn versnipperd materiaal. Voor decoratieve toepassingen en kleine vormen is deze methode echter goed bruikbaar en direct toepasbaar voor de doelgroep van dit onderzoek.

KOPPELING MET LITERATUUR

PLA heeft een aanbevolen verwerkingstemperatuur van 190 tot 220°C, wat de gekozen range van 200 tot 225°C onderbouwt (Hasan et al., 2024). Kleinere deeltjesgrootte door fijnmalen geeft een gelijkmatiger smeltproces bij herverwerking van thermoplastisch afval (Mishra et al., 2023). Siliconen mallen worden in de literatuur bevestigd als geschikte loskousmiddelen bij thermische compressie van thermoplastics (Hassan et al., 2024).



Figuur 15: Silicone vorm test resultaat



Figuur 16: Silicone vorm

9.3.6 EXPERIMENT 4 — LASERCUTTING VAN HET GEPRODUCEERDE MATERIAAL

Test #	Materiaal	Gewicht	Dikte plaat	Instellingen	Tijd	Score
1	PLA	172g	3–4mm	200W / 200mm/min	5 min	5

BEVINDINGEN

De platen die werden geproduceerd via de heatpress met stalen plaatmal werden getest op de lasercutter. Het lasercutten zelf verliep vlot en gaf een mooi afgewerkt resultaat. Het materiaal gedraagt zich tijdens het snijden op dezelfde manier als acryl en kan met vergelijkbare instellingen worden verwerkt. De gebruikte instellingen van 200 watt en 200mm per minuut werkten goed voor een schone snede op platen van 3 tot 4mm dikte.

De test werd uitgevoerd op twee verschillende zelfgeproduceerde platen en het resultaat was in beide gevallen identiek, wat aangeeft dat de methode reproduceerbaar is. De snedekwaliteit was goed en de randen waren netjes afgewerkt zonder rafels of smeltsporen aan de zijkanen.

Een aandachtspunt bij lasercutting van gerecycleerd plastic is de ventilatie. Bij het snijden komen dampen vrij die vergelijkbaar zijn met die bij het snijden van virgin kunststof. Een goede afzuiging op de lasercutter is een absolute vereiste.

CONCLUSIE

Lasercutting van zelfgeproduceerd PLA-plaatmateriaal is volledig haalbaar en levert professionele resultaten op. De platen gedragen zich als acryl, wat betekent dat makers die al ervaring hebben met lasercutting van acryl of MDF dit materiaal zonder extra leercurve kunnen verwerken. De reproduceerbaarheid van de resultaten over twee verschillende platen bevestigt dat de heatpress-methode een consistent en lasercutbaar eindproduct oplevert.

Dit is een van de meest significante bevindingen van het hele onderzoek. Het bewijst dat de volledige keten van printafval naar bruikbaar plaatmateriaal naar afgewerkt gelasercutted object haalbaar is met middelen die beschikbaar zijn in de meeste makerspaces.

KOPPELING MET LITERATUUR

PLA heeft een glasovergangstemperatuur van 60°C en een smeltpunt rond 150 tot 180°C, vergelijkbaar met acryl in lasercuttinggedrag (Hasan et al., 2024). De reproduceerbaarheid over twee platen bevestigt de consistentie van de heatpress-methode als productieproces (Zhu et al., 2021).



Figuur 17: Plaat waar stukken uit zijn gelasercut



Figuur 18: gelasercutte stukken om mogelijkheden te tonen

9.3.7 EXPERIMENT 5 — FREZEN VAN GEPRODUCEERDE MASSIEVE BLOK

Test #	Materiaal	Gewicht	Vorbereiding	Gereedschap	RPM	Diepte per pas	Score
1	Gemengd	400g	Stukken zoals ze waren	Vlakfrees	1500 rpm	2mm	4

BEVINDINGEN

Het geproduceerde massieve blok werd gefreesd met een vlakfrees op 1500 rpm en 2mm per keer. Het resultaat was opvallend goed: het oppervlak werd mooi vlak en het materiaal bleef tijdens het frezen volledig samen zonder te breken of te rafelen. Het blok gedraagt zich als een massieve compacte vorm, wat bewijst dat het smelten en persen van gemengd printafval een structureel bruikbaar eindproduct oplevert.

Een belangrijk aandachtspunt is dat frezen op verschillende manieren kan worden uitgevoerd. Dit experiment was puur demonstratief: aantonen dat frezen mogelijk is en hoe het geperste materiaal reageert op de freesbewerking. Naast grote CNC-machines bestaan er ook desktop CNC-machines en handfreesmachines die voor hobbyisten en kleine makerspaces toegankelijker zijn.

CONCLUSIE

Frezen van gerecycleerd en geperst printafval is haalbaar en levert een goed resultaat op. Het materiaal is massief genoeg om de freeskrachten op te vangen zonder te desintegreren. Dit opent een interessante toepassingsroute waarbij printafval wordt omgezet in een blok dat daarna via frezen kan worden bewerkt tot functionele vormen of objecten. De combinatie van smelten, persen en frezen bewijst dat de output van dit onderzoek niet beperkt blijft tot platen maar ook driedimensionale vormen mogelijk maakt.

KOPPELING MET LITERATUUR

Thermisch gecomprimeerd materiaal kan voldoende sterkte hebben voor nabewerking mits de compressie homogeen is en er geen grote luchtzakken aanwezig zijn (Mishra et al., 2023). De bruikbaarheid als grondstof voor andere maakprocessen is een directe bevestiging van de onderzoekshypothese (Olawumi et al., 2023).



Figuur 19: resultaat van CNC-frezen in massieve blok

9.3.8 CHEMISCHE TEST — ISOPROPANOL

Test #	Materiaal	Oplosmiddel	Tijd	Score
1	PETG	Isopropanol	12u	0
2	PLA	Isopropanol	12u	0

BEVINDINGEN

Als aanvulling op de thermische verwerkingsmethodes werd een beperkte chemische test uitgevoerd waarbij zowel PLA als PETG werden ondergedompeld in isopropanol gedurende 12 uur. Bij beide materialen was er na die periode geen zichtbaar resultaat. Het materiaal bleef volledig intact zonder enige oplossing, zwelling of oppervlakteverandering.

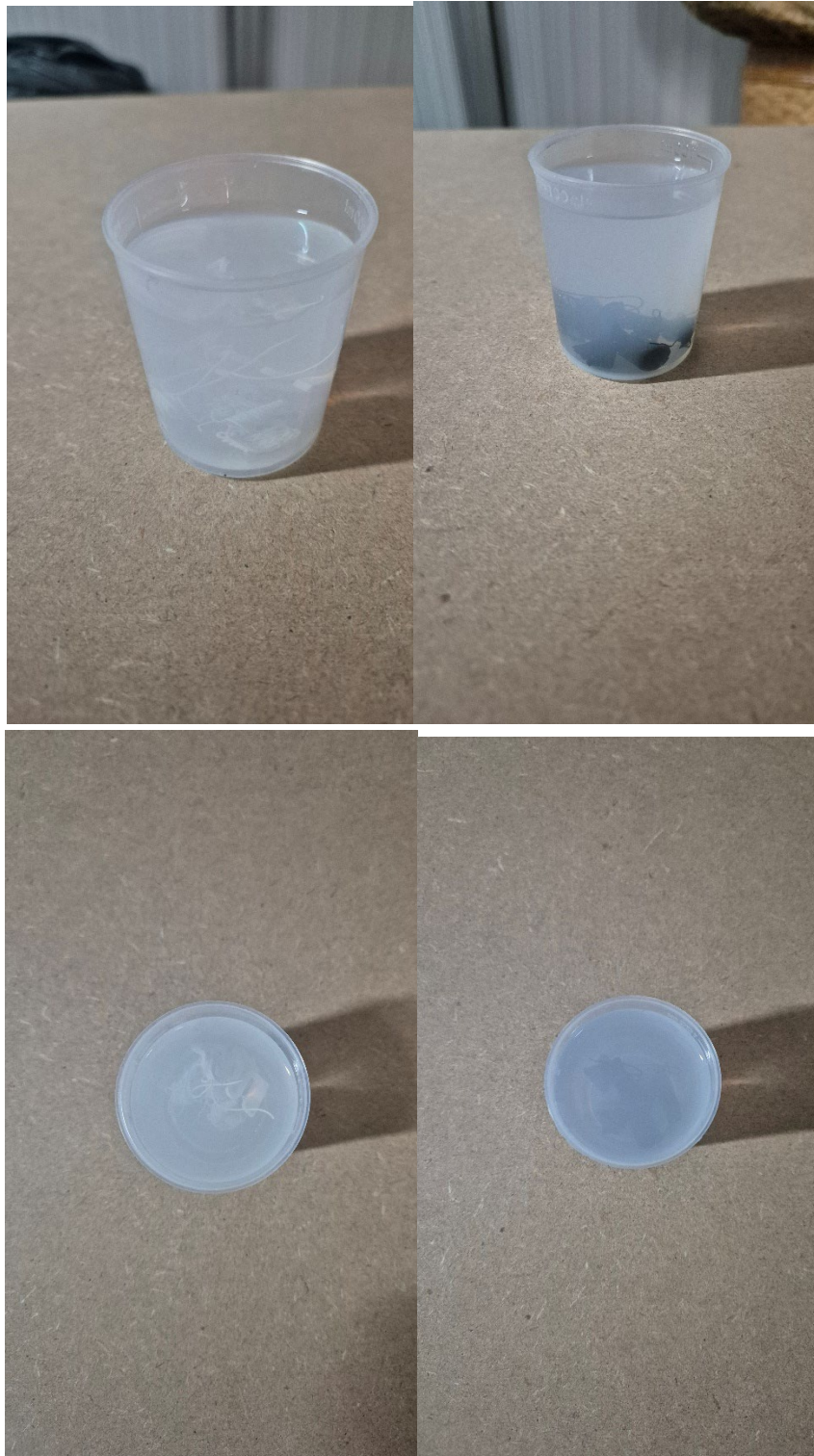
Dit is geen verrassing vanuit wetenschappelijk perspectief. Isopropanol is geen geschikt oplosmiddel voor PLA of PETG. PLA lost op in specifieke oplosmiddelen zoals ethylacetaat of dichloromethaan, en PETG reageert niet op isopropanol. De test werd desondanks uitgevoerd als praktische verificatie vanuit de maker-context, waarbij isopropanol een veel voorkomend en makkelijk verkrijgbaar middel is in makerspaces en hobbyistenateliers.

CONCLUSIE

Isopropanol werkt niet als oplosmiddel voor PLA of PETG. Deze bevinding bevestigt wat de literatuurstudie al aangeeft: chemische verwerking van deze materialen vereist specifieke en moeilijk verkrijgbare oplosmiddelen die buiten het bereik vallen van de gemiddelde hobbyist. De test sluit de chemische route definitief af voor de doelgroep van dit onderzoek en versterkt de keuze voor thermische verwerkingsmethodes als de enige realistische aanpak in een DIY-context.

KOPPELING MET LITERATUUR

PLA lost uitsluitend op in polaire aprotische oplosmiddelen zoals ethylacetaat en dichloormethaan, niet in alcoholen zoals isopropanol (Lau & Sheratt, 2020). Voor PETG geldt hetzelfde: chemische afbraak vereist specifieke oplosmiddelen die in hobbyistische contexten niet beschikbaar of veilig zijn (Amundarain et al., 2024).



Figuur 20: isopropanol test start.



Figuur 21: isopropanol test na 12u in de vloeistof.

9.3.9 RESTSTOFFEN BIJ DE NABEWERKING VAN GERECYCLEERD MATERIAAL

Bij het verwerken van printafval tot nieuw materiaal eindigt de afvalstroom niet bij het eindproduct. Zodra het geproduceerde plaat- of blokmateriaal wordt nabewerkt via lasercutting of frezen ontstaan nieuwe reststoffen die een eigen aandacht verdienen.

Bij lasercutting komen verbrandingsgassen en fijn stof vrij. De samenstelling van die emissies is bij gerecycleerd en gemengd printmateriaal minder voorspelbaar dan bij virgin kunststof of standaard plaatmaterialen zoals acryl of MDF. Een goede afzuiging op de lasercutter is daarom een absolute vereiste, niet alleen voor de operator maar ook voor de omgeving. De snijresten die overblijven na het lasercutten zijn kleine stukjes gerecycleerd plastic die opnieuw kunnen worden bewaard en herverwerkt via dezelfde methodes die in dit onderzoek zijn getest. Dat maakt de cirkel klein maar sluit hem niet volledig.

Bij frezen ontstaan fijne kunststofdeeltjes en slijpstof die via de lucht kunnen verspreiden. Die deeltjes zijn klein genoeg om te worden ingeademd en vereisen het dragen van een stofmasker tijdens het bewerken. De spaanders en het fijne poeder dat vrijkomt bij het frezen zijn moeilijker te hergebruiken dan de grotere snijresten van de lasercutter en vormen in die zin een echte eindafvalstroom.

Microplastics zijn een bredere zorg die ook bij dit onderzoek relevant is. Bij elke thermische verwerking, elk snijproces en elke freesbewerking kunnen microplastische deeltjes vrijkomen die in de omgeving terechtkomen. Dit is een aspect dat in dit onderzoek niet kwantitatief is onderzocht maar dat als randvoorwaarde en aandachtspunt voor verdere ontwikkeling van deze verwerkingsroutes moet worden meegenomen.

De circulaire logica van dit onderzoek lost het probleem van printafval dus gedeeltelijk op maar verschuift het ook deels. Printafval dat vroeger in het restafval belandde wordt nu omgezet in bruikbaar materiaal, maar de nabewerking van dat materiaal genereert nieuwe reststoffen. Een volledig circulaire aanpak vereist ook een antwoord op die vraag.

9.3.10 VERGELIJKING VAN DE VERWERKINGSMETHODES

Over 21 testen werden vijf verwerkingsmethodes uitgetest met PLA, PETG en gemengd materiaal. De resultaten zijn duidelijk en consistent.

De heatpress met stalen plaatmal is de beste methode voor het produceren van bruikbaar plaatmateriaal. Tests 15 en 17 behaalden beide een score van 5 op 5 met PLA op 200°C. De sleutel is een langere perstijd van 6 tot 20 minuten gecombineerd met een bovenplaat die gelijkmatige druk garandeert. Het resultaat is een plaat van 3 tot 4mm die direct bruikbaar is voor lasercutting, wat werd bevestigd in test 18.

De siliconen mal in de oven is de meest laagdrempelige methode en geeft consistente resultaten van 4 op 5 voor zowel PLA als gemengd materiaal op 210 tot 225°C. De methode vereist geen speciale apparatuur en is toegankelijk voor elke hobbyist of makerspace. Het fijnmalen van het materiaal voor verwerking verbetert het resultaat merkbaar. De beperking is de maatvoering: je bent afhankelijk van de beschikbare mal.

De houten blokmal via smelten in een pan gevolgd door manueel persen is de meest creatieve maar ook meest arbeidsintensieve aanpak. Het resultaat is een massief blok dat bewerkbaar is via frezen, wat test 19 aantoonde met een score van 4 op 5. De beperking is de grote hoeveelheid inputmateriaal die nodig is en de beperkte maatcontrole.

De oven als enige verwerkingsstap voor platen zonder heatpress geeft onvoldoende resultaten. Zonder externe druk tijdens het afkoelen ontstaat een dikke onregelmatige vorm die niet lasercutbaar is. De bakplaat zonder bescherm laag is de slechtste aanpak van allemaal en moet ten strengste worden vermeden.

PETG is via geen enkele geteste methode bruikbaar gebleken als plaatmateriaal. Het materiaal wordt te fragiel bij herverwerking en hecht sterk aan stalen oppervlakken. Voor PETG blijft de siliconen mal de enige optie, maar ook daar zijn de resultaten minder voorspelbaar dan bij PLA.

De chemische route via isopropanol leverde geen enkel resultaat op voor zowel PLA als PETG, wat de keuze voor thermische verwerkingsmethodes als enige realistische aanpak voor de doelgroep definitief bevestigt.

Methode	Beste score	Materiaal	Toegankelijkheid	Eindvorm.
Heatpress + plaatmal	5/5	PLA	Makerspace	Plaat → laser
Siliconen mal + oven	4/5	PLA / Gemengd	Hobbyist	Kleine vormen
Blokmal + frezen	4/5	Gemengd	Makerspace	Massief blok
Oven + plaatvorm	3/5	PLA	Hobbyist	Dikke schijf
PETG heatpress	1/5	PETG	Hobbyist	Onbruikbaar
Isopropanol	0/5	PLA / PETG	-	Geen resultaat

9.3.11 CONCLUSIE VAN DE EXPERIMENTEN

De materiaalexperimenten tonen aan dat het herwerken van FDM-printafval tot een nieuw bruikbaar materiaal haalbaar is met middelen die beschikbaar zijn in de meeste makerspaces en bij hobbyisten thuis. Dat is de kern van wat dit onderzoek wilde aantonen en de experimenten bevestigen dat.

PLA is het meest geschikte materiaal voor herverwerking via thermische methodes. Het materiaal gedraagt zich voorspelbaar, smelt gelijkmatig en levert consistente resultaten op via zowel de heatpress als de siliconen mal. De beste resultaten worden bereikt via thermische compressie met een stalen plaatmal op 200°C gedurende 6 tot 20 minuten. Het eindproduct is een plaat van 3 tot 4mm die direct bruikbaar is voor lasercutting met instellingen vergelijkbaar met acryl. De volledige keten van printafval naar plaat naar gelasercutted object is daarmee aangetoond.

PETG is via de geteste methodes niet bruikbaar gebleken als plaatmateriaal. Het materiaal wordt te fragiel bij herverwerking via heatpress en hecht sterk aan stalen mallen. Voor PETG blijft de siliconen mal een mogelijke optie voor kleine vormen, maar het resultaat is minder betrouwbaar dan bij PLA. Dit is een belangrijke bevinding voor de doelgroep: wie PETG-afval heeft, kan dat niet zomaar via dezelfde route verwerken als PLA.

Gemengd materiaal van PLA en PETG geeft acceptabele resultaten in de siliconen mal en bij het produceren van massieve blokken, maar de kwaliteit is minder voorspelbaar dan bij gesorteerd PLA. Dit onderstreept het belang van sorteren per materiaaltype voor de verwerking, een gedragsverandering waartoe de bevroegde makers ook bereid zijn zoals de bevraging aantoonde.

De chemische route via isopropanol leverde geen resultaat op en bevestigt dat chemische verwerking van PLA en PETG in een hobbyistische context niet realistisch is. Thermische verwerking is de enige haalbare route voor de doelgroep van dit onderzoek.

Tot slot toont het freesexperiment aan dat de mogelijkheden verder gaan dan platen alleen. Een massief geperst blok kan worden bewerkt via frezen, wat driedimensionale toepassingen opent naast de tweedimensionale lasercutting. Dat maakt de reikwijdte van dit onderzoek groter dan aanvankelijk voorzien.

10 CASESTUDY EN ANALYSE

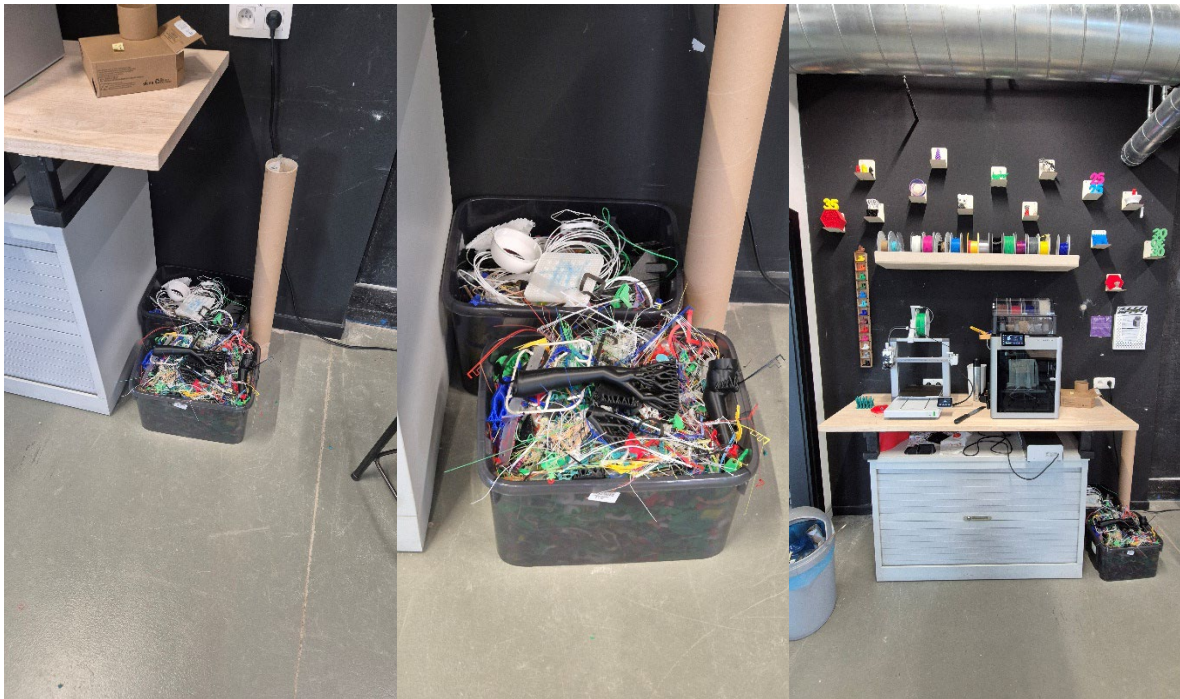
10.1 CASESTUDY EN ANALYSE

Mijn case study is gelinkt aan mijn externe promotor. Tijs gaf aan dat zij steeds meer 3D-printwerk uitvoeren en daardoor ook geconfronteerd worden met een groeiende hoeveelheid printafval. Op dit moment weten ze niet goed wat ze met dat afval kunnen doen.

Vanuit die nood ontstond de vraag of er een circulaire manier mogelijk is om dit plastic opnieuw te verwerken. Daarom heb ik mijn onderzoek verder toegespitst op laagdrempelige en DIY-verwerkingsmethodes die haalbaar zijn binnen een kleine maakcontext.

10.2 SITUATIE VAN DE CASE

Mijn case beschikt over een goed ingerichte werkplek voor de 3D-printers, maar de grote bak met printafval valt meteen op. Bij MAM proberen ze PLA en PETG zoveel mogelijk gescheiden te houden, maar in de praktijk is dat niet altijd haalbaar. Omdat het werk soms snel moet gaan, belanden verschillende materialen toch samen in dezelfde afvalstroom.



Figuur 22: Foto's 3D printer hoek mind- and makerspace (MAM)

11 REFLECTIE EN EVALUATIE

11.1 TERUGBLIK OP HET ONDERZOEKSPROCES

Dit onderzoek was van bij het begin praktisch ingesteld. De centrale vraag was simpel: kan FDM-printafval iets worden? Het antwoord is ja, maar de weg daarnaartoe was complexer dan verwacht.

Het grootste verschil tussen wat ik vooraf dacht en wat het effectief was, zat in de experimenten. Ik had onderschat hoe intensief en tijdrovend het uitvoeren, documenteren en herhalen van materiaal experimenten is. Een test plannen, uitvoeren, evalueren en vervolgens aanpassen op basis van wat misging vraagt veel meer tijd dan het op papier lijkt. Zeker als het resultaat niet is wat je verwachtte en je terug naar af moet.

Dat brengt me bij een tweede inzicht: sommige dingen werken gewoon niet, en dat ontdek je pas als je het effectief probeert. PETG via de heatpress was de meest concrete teleurstelling. Op basis van de eigenschappen van het materiaal leek het een logische keuze, maar in de praktijk bleek het te fragiel en te problematisch om bruikbaar plaatmateriaal van te maken. Dat soort bevindingen zijn waardevol voor het onderzoek maar kosten wel tijd en materiaal.

11.2 WAT IK ANDERS ZOU DOEN

Als ik dit onderzoek opnieuw zou doen, zou ik vroeger beginnen aan de experimenten. Ik heb de literatuurstudie en de bevraging grondig uitgewerkt voor ik echt aan de slag ging met het fysieke werk, maar de experimenten zijn uiteindelijk het hart van dit onderzoek. Meer tijd daarvoor had me de mogelijkheid gegeven om meer variabelen te testen, meer materialen te proberen en de resultaten beter te onderbouwen.

Daarnaast zou ik van bij het begin een strikter documentatiesysteem gebruiken. Naarmate de experimenten vorderden werd duidelijk hoe belangrijk het is om elke parameter consequent bij te houden. De testsheet heeft daarbij geholpen maar die werd pas later in het proces echt systematisch gebruikt.

11.3 MEERWAARDE VAN HET ONDERZOEK

Ondanks die uitdagingen ben ik tevreden met wat dit onderzoek heeft opgeleverd. De volledige keten van printafval naar bruikbaar plaatmateriaal naar gelasercutted object is aangetoond. Dat was het doel en dat is gelukt. De datasheet en de video's maken die kennis toegankelijk voor een breed publiek van makers en hobbyisten, wat aansluit bij waarom ik dit onderwerp heb gekozen.

Het onderzoek heeft ook grenzen blootgelegd die richting geven aan verder werk. PETG blijft een open vraag. Reststoffen bij nabewerking verdienen meer aandacht. En de schaal van de verwerkingsroutes is voorlopig beperkt tot kleine hoeveelheden. Dat zijn geen tekortkomingen maar vertrekpunten voor wie dit verder wil uitwerken.

12 CONCLUSIE

12.1 BEANTWOORDING VAN DE DEELVRAGEN

DEELVRAAG 1 — WELKE FDM-MATERIALEN VORMEN DE GROOTSTE AFVALSTROOM EN WAT ZIJN HUN EIGENSCHAPPEN MET HET OOG OP THERMISCHE HERVERWERKING?

PLA en PETG vormen samen de dominante afvalstroom bij hobbyisten en makerspaces. Uit de bevraging blijkt dat 97,8% van de respondenten PLA gebruikt en 53,3% PETG. Beide materialen zijn thermoplastisch en kunnen in theorie via warmte worden herwerkt. In de praktijk blijkt PLA het meest geschikt voor thermische herverwerking. PETG wordt te fragiel bij herverwerking via heatpress en levert onbetrouwbare resultaten op.

DEELVRAAG 2 — WELKE VERWERKINGSMETHODES LEVEREN EEN BRUIKBAAR EN STRUCTUREEL STABIEL MATERIAAL OP?

Twee methodes leveren consistent bruikbare resultaten op. De heatpress met stalen plaatmal geeft het beste resultaat voor het produceren van platen, met een maximale kwaliteitsscore van 5 op 5 voor PLA op 200°C. De siliconen mal in de oven is de meest laagdrempelige methode en geeft goede resultaten voor kleine vormen. De houten blokmal via smelten en manueel persen levert een massief blok op dat bewerkbaar is via frezen.

DEELVRAAG 3 — ONDER WELKE PROCESPARAMETERS LEVERT THERMISCHE COMPRESSIE HET MEEST HOMOGENE EINDPRODUCT OP?

Voor PLA via heatpress zijn de optimale parameters 200°C gedurende 6 tot 20 minuten met een bovenplaat die gelijkmatige druk garandeert. Voor de siliconen mal in de oven geldt 210 tot 225°C gedurende 20 tot 40 minuten, waarbij vooraf fijngemalen materiaal een gelijkmatiger resultaat geeft. Hogere temperaturen geven niet automatisch betere resultaten en leiden bij PLA tot versnelde materiaaldegradatie.

DEELVRAAG 4 — IS HET GEPRODUCEERDE MATERIAAL TECHNISCH BRUIKBAAR VOOR LASERCUTTING EN CNC-FREZEN?

Ja. PLA-platen van 3 tot 4mm geproduceerd via heatpress kunnen worden gesneden met een lasercutter op instellingen vergelijkbaar met acryl, namelijk 200 watt en 200mm per minuut. Het resultaat is reproduceerbaar over meerdere platen. Massief geperst blokmateriaal kan worden bewerkt via frezen op 1500 rpm met 2mm per pas zonder dat het materiaal desintegreert of rafelt.

DEELVRAAG 5 — WAT ZIJN DE VOORNAAMSTE DREMPELS DIE HOBBYISTEN ERVAREN BIJ HET RECYCLEREN VAN PRINTAFVAL?

Uit de bevraging blijkt dat 62,2% de apparatuur te duur vindt en 53,3% het proces te tijdsintensief. Een gebrek aan kennis en informatie speelt bij 33,3% een rol. Kwaliteitsverlies wordt nauwelijks als drempel ervaren. De drempels zijn dus praktisch en financieel van aard, niet inhoudelijk.

DEELVRAAG 6 — IN WELKE MATE ZIJN HOBBYISTEN BEREID OM TE SORTEREN PER MATERIAALTYPE?

80% van de respondenten staat open voor sorteren als er een concrete verwerkingsroute beschikbaar is. De bereidheid is groot maar de aanleiding ontbrak tot nu toe. Dit onderzoek biedt die aanleiding.

DEELVRAAG 7 — WELKE GEZONDHEIDS- EN VEILIGHEIDSRISICO'S ZIJN VERBONDEN AAN THERMISCHE VERWERKING VAN FDM-PRINTAFVAL?

Bij thermische verwerking komen VOC's en ultrafijne deeltjes vrij die schadelijk zijn bij inademing. Adequate ventilatie of afzuiging is een absolute minimumvereiste. Bij nabewerking via lasercutting en frezen komen bijkomend verbrandingsgassen, fijn stof en kunststofspaanders vrij waarvoor respectievelijk lasercutterafzuiging en een stofmasker noodzakelijk zijn.

DEELVRAAG 8 — HOE KAN DE KENNIS WORDEN GEBUNDELD IN EEN PRAKTISCH BRUIKBARE DATASHEET?

De kennis uit de experimenten is gebundeld in een datasheet die per methode de optimale parameters, do's en don'ts, benodigde tools en veiligheidsmaatregelen weergeeft. Aanvullend werden korte video's geproduceerd op het YouTube-kanaal DIY Print Lab die de methodes visueel toegankelijk maken voor een breed makerspubliek.

DEELVRAAG 9 — WELKE RESTSTOFFEN ONTSTAAN BIJ DE NABEWERKING VIA LASERCUTTING EN CNC-FREZEN?

Snijresten van lasercutting zijn herbruikbaar als inputmateriaal voor nieuwe verwerkingscycli. Fijn stof en spaanders van frezen zijn moeilijker te hergebruiken en vereisen een afzonderlijke afvoerroute. De vraag rond microplastics en hun verspreiding in de werkomgeving blijft open en verdient verder onderzoek.

12.2 BEANTWOORDING VAN DE CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG

Hoe kan FDM-3D-printafval via laagdrempelige verwerkingsmethodes worden omgezet tot een nieuw bruikbaar materiaal binnen een hobbyistische maakcontext?

Dit onderzoek toont aan dat FDM-printafval, en meer specifiek PLA-afval, via thermische compressie met een heatpress en stalen plaatmal kan worden omgezet tot een plaat van 3 tot 4mm die direct bruikbaar is voor lasercutting en zaagbewerking. Daarnaast kan gesmolten en geperst printafval worden omgezet in een massief blok dat bewerkbaar is via frezen. Beide routes zijn uitvoerbaar met apparatuur die beschikbaar is in de meeste makerspaces en vereisen geen dure of gespecialiseerde investeringen buiten de heatpress.

De bevraging bevestigt dat er een reële nood is aan deze aanpak. Makers hebben het afval, de bereidheid is er, maar de kennis en een toegankelijke route ontbraken. Dit onderzoek biedt die route, documenteert de parameters en maakt ze toegankelijk via een datasheet en een reeks korte video's.

Het onderzoek heeft ook duidelijke grenzen. PETG is via de geteste methodes niet bruikbaar als plaatmateriaal. Gemengd materiaal geeft minder voorspelbare resultaten dan gesorteerd PLA. De reststoffen bij nabewerking vormen een nieuwe afvalstroom die een eigen aanpak vraagt. En de schaal blijft beperkt: dit zijn verwerkingsroutes voor kleine hoeveelheden, niet voor industriële volumes.

12.3 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Vervolgonderzoek kan zich richten op het verbeteren van de PETG-verwerkingsroute via alternatieve mallen of loskousmiddelen. Ook het testen van TPU als bijmenging in PLA-platen om de slagvastheid te verhogen is een interessante piste. De reststoffenvraag rond microplastics en fijn stof bij nabewerking verdient een kwantitatieve opvolging. Tot slot kan het opzetten van een inzamel- en verwerkingsinfrastructuur in makerspaces op basis van de bevindingen van dit onderzoek een logische volgende stap zijn.

12.4 SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Dit onderzoek sluit aan bij vier van de zeventien Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties.

SDG 12 — RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION

Is de meest directe link. Het onderzoek richt zich expliciet op het verminderen van afvalstromen door FDM-printafval om te zetten tot een nieuw bruikbaar materiaal. Dat is een concrete bijdrage aan circulaire productie en verantwoord materiaalgebruik binnen een maakcontext.

SDG 13 — CLIMATE ACTION

Sluit hierbij aan. Minder plastic afval dat op de stortplaats of in het restafval belandt betekent minder uitstoot en minder milieubelasting. De verwerkingsroutes in dit onderzoek zijn kleinschalig maar kunnen op grotere schaal een meetbare impact hebben als ze breed worden toegepast in makerspaces en onderwijsinstellingen.

SDG 4 — QUALITY EDUCATION

Is relevant omdat dit onderzoek kennis toegankelijk maakt voor een breed publiek via een gratis datasheet en video's. Makers, studenten en hobbyisten kunnen de gedocumenteerde methodes direct toepassen zonder extra investering in dure apparatuur of opleidingen.

SDG 9 — INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE

Sluit aan omdat het onderzoek een innovatieve verwerkingsroute ontwikkelt die nog nauwelijks gedocumenteerd is in de bestaande literatuur. Het omzetten van printafval naar plaatmateriaal voor lasercutting en CNC-frezen is een nieuwe toepassing die aansluit bij duurzame innovatie binnen de maakeconomie.

13 PRODUCT

13.1 INLEIDING OP HET EINDPRODUCT

Het eindproduct van dit onderzoek bestaat uit twee complementaire onderdelen die elk op hun eigen manier een antwoord bieden op de onderzoeksvraag.

Tijdens het onderzoeksproces bleek al snel dat video een van de meest waardevolle informatiebronnen is als je iets praktisch wil leren. Veel van wat ik zelf heb bijgeleerd over het verwerken van printafval kwam niet uit artikels of handleidingen maar uit het kijken naar mensen die het gewoon deden. Vanuit die gedachte zijn de korte video's ontstaan: als ik er zelf iets uit haal, zullen andere makers dat ook doen. De video's tonen het proces zoals het echt is, inclusief wat mislukt en wat werkt, en maken de methodes visueel begrijpelijk zonder technische voorkennis.

De datasheet vult dat aan met de droge cijfers en concrete parameters. Temperatuur, tijd, materiaal, methode, score. Die informatie kan je moeilijk in een video stoppen zonder het te overladen. De datasheet is het naslagdocument dat je naast je werkplek legt als je zelf aan de slag gaat. Samen vormen de video's en de datasheet een eindproduct dat zowel inspireert als concreet bruikbaar is voor makers, hobbyisten en onderwijsinstellingen.

13.2 DE VIDEO'S

De video's zijn gepubliceerd op het YouTube-kanaal DIY Print Lab en zijn beschikbaar via https://www.youtube.com/@diy_print_lab. Het gaat om korte verticale video's van maximaal 60 seconden die elk één methode of concept tonen op een directe en toegankelijke manier.

13.2.1 VIDEO 1 — FAILED 3D PRINTS DON'T HAVE TO BE WASTE

De eerste video is de introductie van de hele reeks. Ze legt in minder dan een minuut uit wat de aanleiding is van dit onderzoek en welke methodes er worden getest: smelten in mallen, persen tot platen, frezen en lasercutten. De toon is bewust informeel en laagdrempelig, gericht op makers, hobbyisten en iedereen die geïnteresseerd is in 3D-printing, recyclage of materiaalexperimenten. De video functioneerde als ingang voor de rest van de reeks.

13.2.2 VIDEO 2 — TURNING FAILED 3D PRINTS INTO SOMETHING NEW, USING A SILICONE MOLD

De tweede video toont het smelten van printafval in een siliconen mal. Het proces wordt getoond zoals het werkelijk verloopt, inclusief de beperkingen van het resultaat. De beschrijving vat het bondig samen: niet perfect, maar wel bruikbaar. Die eerlijkheid is bewust gekozen want het past bij de onderzoekende aanpak van dit project en geeft kijkers een realistisch beeld van wat ze zelf kunnen verwachten.

De overige video's over de heatpress en lasercutting worden toegevoegd zodra ze zijn afgewerkt. De volledige reeks is te bekijken via het YouTube-kanaal DIY Print Lab.

13.2.3 VIDEO 3 — TURNING 3D PRINT WASTE INTO A SHEET FOR LASER CUTTING

De derde video toont het volledige proces van heatpress naar bruikbare plaat. Het afval wordt gesmolten op 200 tot 220°C en via een heatpress omgezet in een massieve plaat die direct bruikbaar is voor lasercutting, vergelijkbaar met MDF of acryl. De video benadrukt dat het eindmateriaal niet uit een winkel komt maar volledig bestaat uit eigen printafval. Dit is de meest directe visuele bevestiging van wat dit onderzoek wil aantonen: de volledige keten van afval naar bruikbaar materiaal in één video samengevat.

13.2.4 VIDEO 4 — ACCESSIBLE DIY ALTERNATIVES FOR PROCESSING PRINT WASTE

De vierde video verschuift de focus van de methode naar de tools. In plaats van dure industriële apparatuur worden drie toegankelijke alternatieven getoond: een krachtige blender als vervanging voor een professionele shredder, een kledingsheatpress als alternatief voor een industriële pers, en een tweedehands oven specifiek voor plastic verwerking apart van de keuken. De video sluit af met een duidelijke veiligheidsboodschap over ventilatie, handschoenen en het strikt gescheiden houden van tools voor plastic en voedsel. Deze video is het meest direct gericht op de hobbyist die thuis wil starten en sluit het nauwst aan bij de doelstelling van dit onderzoek om verwerkingsroutes toegankelijk te maken voor een breed publiek.

13.3 DE DATASHEET

Naast de video's is er ook een datasheet gemaakt als tweede onderdeel van het eindproduct. Waar de video's het proces visueel en toegankelijk tonen, bundelt de datasheet alle technische informatie op één overzichtelijke plek. Het gaat om een meerpagina PDF-gids die zowel digitaal als offline bruikbaar is.

De datasheet is opgebouwd rond vijf onderdelen. Een materiaalvergelijking tussen PLA en PETG met hun eigenschappen en geschiktheid voor DIY-verwerking. Per verwerkingsmethode een duidelijke uitleg met parameters, stap-voor-stap instructies en aandachtspunten. Een overzicht van toegankelijke DIY-tools en goedkope alternatieven voor professionele apparatuur. Een do's en don'ts sectie voor de meest voorkomende fouten. En tot slot een veiligheidsblok over ventilatie en gezondheidsrisico's bij thermische verwerking.

De keuze voor een PDF is bewust. Een datasheet die je kan downloaden, uitprinten en naast je werkplek leggen is voor een maker praktischer dan een webpagina opzoeken terwijl je bezig bent. De combinatie van de datasheet en de video's zorgt ervoor dat zowel mensen die liever lezen als mensen die liever kijken toegang hebben tot dezelfde informatie.

De datasheet is beschikbaar via het YouTube-kanaal DIY Print Lab op youtube.com/@diy_print_lab.

14 AI GEBRUIK

Tijdens dit onderzoek heb ik op verschillende momenten AI-tools gebruikt als hulpmiddel.

Voor het schrijven en herformuleren van teksten heb ik Claude gebruikt. Ook voor het verwerken van de enquêtedata en het structureren van bepaalde onderdelen van het rapport. De inhoud, de experimenten en de conclusies zijn mijn eigen werk, Claude hielp vooral om dingen beter te verwoorden.

Voor de video's heb ik ChatGPT gebruikt om de scripts uit te werken en ElevenLabs voor de voice-over. De beelden en het monteren zijn volledig zelf gedaan.

Voor mijn Datesheet heb ik gebruik gemaakt van Claude design en daar dan nog aanpassingen op gemaakt.

Bij alles wat AI genereerde heb ik steeds zelf nagekeken of het klopte. Zeker bij bronnen was dat belangrijk want die moesten manueel worden geverifieerd.

15 BRONNENLIJST

15.1 FDM-MATERIALEN EN HUN EIGENSCHAPPEN

Hasan, M. R., Davies, I. J., Pramanik, A., John, M., & Biswas, W. K. (2024). Potential of recycled PLA in 3D printing: A review. **Sustainable Manufacturing and Service Economics**, **3**, 100020.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667344424000033?via%3Dihub>

Hidalgo-Carvajal, D., Muñoz, Á. H., Garrido-González, J. J., Carrasco-Gallego, R., & Alcázar Montero, V. (2023). Recycled PLA for 3D printing: A comparison of recycled PLA filaments from waste of different origins after repeated cycles of extrusion. **Polymers**, **15**(17), 3651. <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/17/3651>

15.2 RECYCLAGE EN HERVERWERKING VAN FDM-PRINTAFVAL

Hassan, M., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2024). 3D printing in upcycling plastic and biomass waste to sustainable polymer blends and composites: A review. **Materials & Design**, **237**, 112558.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127523009747?via%3Dihub>

Mishra, V., Negi, S., & Kar, S. (2023). FDM-based additive manufacturing of recycled thermoplastics and associated composites. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, **25**, 758–784.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-022-01588-2>

Olawumi, M. A., Oladapo, B. I., Ikumapayi, O. M., & Akinyoola, J. O. (2023). Waste to wonder: Exploring possibilities with recycled materials in 3D printing. **The Science of the Total Environment**, **905**, 167109.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723057364?via%3Dihub>

Prasad, G., Arunav, H., Dwight, S., Ghosh, M. B., Jayadev, A., & Nair, D. I. (2024). Advancing sustainable practices in additive manufacturing: A comprehensive review on material waste recyclability.

Sustainability, **16**(23), 10246. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10246>

Zhu, C., Li, T., Mohideen, M. M., Hu, P., Gupta, R., Ramakrishna, S., & Liu, Y. (2021). Realization of circular economy of 3D printed plastics: A review. **Polymers**, **13**(5), 744. <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/5/744>

Dong, Y., Li, H., Wang, L., Chen, J., Sucala, V. I., & Jiang, J. (2025). Review on recycled materials for additive manufacturing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-025-00788-z>

15.3 CHEMISCHE RECYCLAGE VAN PLA EN PETG

Amundarain, I., López-Montenegro, S., Fulgencio-Medrano, L., Leivar, J., Iruskieta, A., Asueta, A., Miguel-Fernández, R., Arnaiz, S., & Pereda-Ayo, B. (2024). Improving the sustainability of catalytic glycolysis of complex PET waste through bio-solvolysis. **Polymers**, **16**(1), 142. <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/1/142>

Lau, B. L. T., & Sheratt, G. (2020). The chemical recycling of PLA: A review. **Sustainable Chemistry**, **1**(1), 1–22. <https://www.mdpi.com/2673-4079/1/1/1>

15.4 GEZONDHEIDSRISICO'S BIJ VERWERKING

Bernatikova, S., Dudacek, A., Prichystalova, R., Klecka, V., & Kocurkova, L. (2021). Characterization of ultrafine particles and VOCs emitted from a 3D printer. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 929. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/3/929>

15.5 PRAKTIJK EN TOEGANKELIJKHEID VOOR MAKERS

Loth, N., & Auburn University. (2025). **Who will recycle your 3D print waste? We found 8 services to send your scraps to.** All3DP Pro. <https://all3dp.com/1/3d-print-recycling-services-guide/>

Printables.com. (z.d.). *3D FDM printing waste: The hidden cost of FDM 3D printing*. Geraadpleegd op 7 juni 2026, van <https://www.printables.com/article/3d-fdm-printing-waste-the-hidden-cost-of-fdm-3d-pr-LwZ6jZn>

Filamentive. (2019). *The 3D printing waste problem*. <https://www.filamentive.com/the-3d-printing-waste-problem/>

15.6 AFVALPERCENTAGES BIJ FDM-PRINTING

Tzounis, L., Bangeas, P. I., Exadaktylos, A., Petousis, M., & Vidakis, N. (2021). Manufacturing zero-waste COVID-19 personal protection equipment: A case study of utilizing 3D printing while employing waste material recycling. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 851–869. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-021-00047-8>

16 BIJLAGE

16.1 BIJLAGE 1: VRAGENLIJST SURVEY

https://drive.google.com/file/d/1pDgz9K_X5D4xqKD4zCU43g79dtyXZhRQ/view?usp=sharing

16.2 BIJLAGE 2: OVERZICHT VAN DATA-ANALYSE (EXCEL)

https://drive.google.com/file/d/19gC43HBy-jNQieE-o-2tdEXNli8X_IDp/view?usp=sharing

